

Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

**HISTORICKÉ METODY OCHRANY DŘEVA VE STAVEBNÍCH
KONSTRUKCÍCH**

**HISTORICAL METHODS OF WOODEN PROTECTION IN BUILDING
STRUCTURES**

Bakalářská práce

Student:

Adéla Valentová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tereza Majstříková, Ph.D.

Ostrava 2021

Zadání bakalářské práce

Student:

Adéla Valentová

Studijní program:

B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb

Téma:

Historické metody ochrany dřeva ve stavebních konstrukcích
Historical Methods of Wooden Protection in Building Structures

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Aplikace dřevěných konstrukcí ve stavebnictví je tradiční technologií. S výhodou se tohoto materiálu využívalo a stále využívá zejména pro stropní a střešní konstrukce, táhla, věnce, překlady, obklady, podlahy, výplně otvorů, konstrukce schodišť a také pro svislé nosné konstrukce (roubené a hrázděné stavby) apod. Toto široké spektrum uplatnění dřeva ve stavebních konstrukcích bylo zapříčiněno zejména jeho nízkou objemovou hmotností, dobrou opracovatelností, pevností, tepelně izolačními parametry a i dalšími vlastnostmi. Důležitým faktem je také to, že je dřevo obnovitelnou surovinou. V současné době jsou při výstavbě upřednostňovány jiné, moderní materiály, které ve srovnání se dřevem vykazují vyšší odolnost zejména proti povětrnostním vlivům. Kromě relativně nízké odolnosti dřeva proti vnějším vlivům, patří k nevýhodám tohoto materiálu také jeho ortotropní charakter, nízká odolnost proti působení biologických škůdců a poměrně vysoká hygroskopicitá.

V rámci této bakalářské práce bude v teoretické části popsána problematika dřevěných konstrukcí, degradace dřeva a zejména pak historické metody ochrany dřevěných konstrukcí. V praktické části bude následně u různých objektů proveden průzkum zaměřený na detekci a popis provedených metod ochrany dřevěné konstrukce. Na základě tohoto průzkumu a literární rešerše bude vybrána historická metoda ochrany dřeva, která bude laboratorně simulována, a následně u ošetřených vzorků budou zjišťovány vybrané charakteristiky.

Seznam doporučené odborné literatury:

- KUKLÍK, P.: Dřevěné konstrukce. Praha: ČKAIT, 2005. ISBN 80-86769-72-0.
REINPRECHT, L.: Ochrana dřeva. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2004. ISBN 978-80-228-1863-6.
REINPRECHT, L.: Wood Deterioration, Protection and Maintenance. Chichester: Wiley Blackwell, 2016. ISBN 978-1-119-10653-1.
ŠKABRADA, J.: Konstrukce historických staveb. Praha: Argo, 2003. ISBN 80-7203-548-7.
WITZANY, J., et al.: PDR – Poruchy, degradace a rekonstrukce. Praha: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.
ČSN 490110: Dřevo. Medza pevnosti v tlaku v směru vláken (1980).
ČSN EN 212: Ochranné prostředky na dřevo - Návod na odběr a přípravu vzorků ochranných prostředků na dřevo a zkušebních těles z ošetřeného dřeva k analýze (2004).
ČSN EN 335: Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva - Třídy použití: definice, aplikace na rostlé dřevo a na výrobky na bázi dřeva (2013).
ČSN EN 384: Konstrukční dřevo - Stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty (2019).
ČSN EN 408: Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých

fyzikálních a mechanických vlastností (2012).

ČSN EN 460: Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva. Přirozená trvanlivost rostlého dřeva. Požadavky na trvanlivost dřeva pro jeho použití v třídách ohrožení (1996).

ČSN EN 13183-1: Vlhkost vzorku řeziva - Část 1: Stanovení váhovou metodou (2004).

ČSN EN 13183-2: Vlhkost vzorku řeziva - Část 2: Odhad elektrickou odporovou metodou (2004).

ČSN ISO 13822: Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí (2014).

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tereza Majstríková, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2020

Datum odevzdání: 30.04.2021



doc. Ing. Vlastimil Bílek, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Terezy Majstríkové, Ph.D. a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 30. 4. 2021

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo
- beru na vědomí, že Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečné ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3)
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO
- bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavře licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byl VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do její skutečné výše)
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby

Poděkování

Touto cestou bych chtěla vyjádřit velké díky paní Ing. Tereze Majstríkové, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, korekci a pomoc při vypracování této práce. Poděkování patří také mé rodině a přátelům, kteří mně vždy projevovali podporu a důvěru po celou dobu studia. V neposlední řadě bych ráda poděkovala pracovníkům Laboratoří stavebních hmot za jejich pomoc s obsluhou laboratorních přístrojů či přímo při provádění jednotlivých zkoušek.

Anotace

VALENTOVÁ, A. Historické metody ochrany dřeva ve stavebních konstrukcích. Ostrava 2021
Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Vedoucí práce: Ing. Tereza Majstríková, Ph.D.

Dřevěné prvky se používají ve stavebních konstrukcích už několik tisíc let a jsou jejich nedílnou součástí. Dřevo bylo, a je, využíváno zejména díky jeho výhodným fyzikálním a mechanickým vlastnostem. Teoretická část této bakalářské práce se zabývá historií použití dřeva ve stavebních konstrukcích, mechanickými i fyzikálními charakteristikami dřeva a dále pak problematikou degradace dřeva. V návaznosti na degradaci dřeva je práce zaměřena na historické metody ošetřování dřevěných konstrukcí. V praktické části jsou poté provedeny analýzy na odebraných vzorcích nátěrů z různých historických konstrukcí, a to za účelem identifikace přibližného složení těchto nátěrů. Další kapitolou v praktické části této práce bude příprava vzorků a ošetření jednou z nejpoužívanějších metod historického ošetřování dřeva, a to vápenným nátěrem. Na těchto vzorcích budou v průběhu času zkoumány některé mechanické charakteristiky.

Klíčová slova

Dřevo, dřevěné konstrukce, ošetřování dřeva, nátěry

Annotation

VALENTOVÁ, A. Historical Method of Wooden Protection in Building Structures. Ostrava 2021 Bachelor thesis. VSB – Technical University of Ostrava. Thesis supervisor: Ing. Tereza Majstríková, Ph.D.

Wooden elements were used in building structures for thousand years and are an integral part of them. Wood has been, and is it still used mainly due to its advantageous physical and mechanical properties. The theoretical part of this Bachelor's thesis deal with the history of the wood application in building structures, mechanical and physical characteristic of wood and the issue of wood degradation. Following the degradation of wood, the thesis it focused on historical treatment methods of wooden structures. In the practical part of this thesis, analyses are then performed on coating samples from various historical structures, in order to identify the approximate composition of these coatings. The next chapter in the practical part of this thesis will be the preparation of samples and treatment of one of the most used methods of historical wood treatment, namely with lime coating. We will test some mechanical characteristics on these samples over time.

Key words

Wood, wooden structures, wood treatment, coatings

Seznam použitých zkratk

A	plocha [cm^2]
a, b, c	rozměry zkušebních těles [mm]
α	opravný koeficient pro dřeviny [-]
A_{12}	rázová houževnatost při 12% vlhkosti [J/cm^2]
A_w	rázová houževnatost při určité vlhkosti [J/cm^2]
ČSN	Česká státní norma
DSC	diferenční skenovací kalorimetrie
DTG	derivační termografie
EN	evropská norma
F_{\max}	maximální síla [kN]
IR	infračervená záření
m	hmotnost [g, kg]
M	pořadí měření
p_x	příjem náteru [kg/m^2]
Q	práce [J]
R^2	hodnota spolehlivosti grafu [-]
RTG	rentgenové záření
ρ	objemová hmotnost [kg/m^3]
σ_w	pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny při určité vlhkosti [MPa]
σ_{12}	pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny při 12% vlhkosti [MPa]
TG	termogravimetrie
UV	ultrafialové záření
V	objem [m^3]

w vlhkost [%]

XRF rentgenové fluorescenční záření

Obsah

1	Úvod.....	1
I. Teoretická část		
2	Historie použití dřeva jako konstrukčního materiálu	2
3	Dřevo a jeho vlastnosti	4
3.1	Základní charakteristiky dřeva	4
3.2	Fyzikální vlastnosti dřeva a další vybrané vlastnosti	8
3.3	Mechanické vlastnosti dřeva	10
3.4	Přirozená trvanlivost dřeva	13
3.5	Způsoby degradace dřeva	14
3.5.1	Biotické degradační vlivy.....	15
3.5.2	Abiotické degradační vlivy	20
4	Metody preventivní ochrany dřeva.....	22
4.1	Primární úprava suroviny	22
4.2	Fyzikální a konstrukční ochrana dřeva	23
5	Historické metody ochrany povrchu dřevěných konstrukcí.....	25
5.1	Preventivní metody ošetření povrchu nepoškozeného dřeva.....	25
5.2	Cílené moderní metody ochrany dřeva.....	32
5.3	Sbírkové předměty.....	34
II. Praktická část		
6	Popis objektů k odběru vzorků.....	35
7	Instrumentální metody pro stanovení složek nátěrů.....	40
7.1	Metodika odběru vzorků.....	40
7.2	Rentgenová fluorescenční analýza	40
7.3	Infračervená spektroskopie.....	42
7.4	Termická analýza.....	44
8	Aplikace instrumentálních metod pro stanovení složení nátěrů.....	46

8.1	Analýza nátěru z Grossmanovy vily.....	46
8.2	Analýza nátěru z Vlastivědného muzea v Olomouci.....	48
8.3	Analýza nátěru z Velké Bystřice u Olomouce.....	50
8.4	Analýza barokního zrcadla	52
8.5	Porovnání analýz nátěrů	55
9	Aplikace vybrané metody ošetřování dřeva nátěrem	56
9.1	Příprava vzorků dřeva ke zkoušení.....	57
9.2	Vápenný nátěr.....	58
9.2.1	Aplikace vápenného nátěru na zkušební vzorky	59
9.2.2	Stanovení příjmů vápenného nátěru	60
9.2.3	Analýza vápenného nátěru	62
9.3	Stanovení objemové hmotnosti dřeva.....	64
9.4	Stanovení pevnosti v tlaku ve směru vláken	65
9.5	Stanovení rázové houževnatosti dřeva	69
10	Závěr.....	74
11	Seznam zdrojů	76
11.1	Normy	76
11.2	Odborná literatura	76
11.3	Zdroje z internetu	77
12	Seznam obrázků	80
13	Seznam tabulek	82
14	Seznam příloh.....	83

1 Úvod

Dřevo ve stavebních konstrukcích se používalo od nepaměti a vždy jej bylo potřeba chránit před různými vnějšími vlivy a degradačními faktory. Eliminovat negativní působení vnějších faktorů na dřevěnou konstrukci lze jak konstrukčním řešením, tak různými metodami ošetřování povrchů dřevěných prvků. K ošetřování dřeva byly používány nátěry, ať už na bázi organických hmot, olejů, pryskyřic či hydratovaného (hašeného) vápna.

Téma této práce jsem si vybrala z důvodu zájmu o dřevo jako takové, ale také díky svému zájmu o historické stavby a technologie. Pozůstatky práce našich předků by neměly být zapomenuty a opomíjeny a je potřeba se jim věnovat. Teoretická část této práce je zaměřena na historii použití dřeva jakožto stavebního materiálu a historické způsoby jeho ochrany s využitím aplikace různých druhů nátěrů. Okrajově budou taktéž zmíněny novodobé metody ochrany dřeva. V první části praktické práce budou podrobeny analýze vzorky nátěrů odebraných z různých historických konstrukcí. Využity budou analytické metody, které pomohou určit přibližné prvkové složení těchto nátěrových hmot. Výsledky jednotlivých analýz budou mezi sebou porovnány a vyhodnoceny. V druhé části praktické práce bude popsána simulace ošetření těles vyrobených z různých druhů dřeva, které budou ošetřeny vápenným nátěrem. Na těchto tělesech budou zkoumány vybrané mechanické i fyzikální charakteristiky, které následně budou mezi sebou porovnány a vyhodnoceny.

Znalost technologie provádění a samotného složení historických nátěrů lze s výhodou využít například v památkové péči při rekonstrukcích a opravách, kdy jsme schopni pomocí analýz zjistit složení nátěru. Na základě této informace můžeme vyrobit novou ochrannou hmotu, která esteticky i technologií zapadne do prostředí opravované památky.

I. Teoretická část

2 Historie použití dřeva jako konstrukčního materiálu

Dřevo se jako stavební materiál používá od dob 120 000 – 30 000 př. n. l., kdy byl přítomen pračlověk na našem území. Pračlověk primárně obýval jeskyně, avšak začal stavět i primitivní chýše právě ze dřeva. Tyto chýše byly kruhového půdorysu, konstrukci pak tvořily vhodné větve ještě s listím, případně na ně byla nanošena tráva. O několik tisíc let později se stavby zdokonalily tím, že se na jejich povrch skládaly kůže, tyto stavby bývaly již stavěny na oválném půdorysu. [12, 29]

První sofistikovanější stavby byly stavěny od pozdní doby kamenné. Jednalo se o stavby, které již měly nosnou konstrukci z dřevěných kůlů a střechu pokrytou doškami. Takové stavby měly většinou životnost okolo 20 let. Jelikož lidé zpočátku neovládali žádná řemesla, tak neuměli spojit tesařsky tři trámy. Využívali půdorysné lichoběžníkové uspořádání staveb. [12, 29]

Dalším milníkem je pak příchod Keltů na naše území přibližně v 5. století př. n. l. Keltové bydleli v tzv. opidech, které byly vlastně jakousi osadou, chráněnou valy z hlíny a dřevěnými kůly. Podezdívky domů byly kamenné, na nich pak vystavěny nosné konstrukce ze dřeva. Střecha byla opět došková, sedlová, a byla spuštěna až k zemi. S tímto typem domů jsme se mohli setkat až do rané doby středověku. [12, 29]

Přibližně v 5. století n. l. se na našem území usazují Slované. Ti zprvu staví stavby podobné těm Keltským, později však začínají stavět stavby roubené. K pokrývání střech se stále používají došky, nově pak šindele. Tyto stavby byly náročné na kulatinu, avšak té bylo na našem území dostatek. Největším roubeným domem v České republice je Slezský dům v Karlově Studánce, který byl postaven v roce 1909 a stojí dodnes. Za zmínku také stojí nejstarší roubený dům v České republice, který se nachází ve Rtyni v Podkrkonoší, jehož stáří se datuje do let 1546 – 1547 (viz Obr. č. 1). [12, 13, 37]



Obrázek 1 - Nejstarší roubená stavba v ČR [37]

Ve 12. století na středním Rýně vznikla tzv. hrázděná konstrukce, jedná se o typ dřevostavby, kde rám konstrukce tvoří dřevěné trámy, mezi které je umísťována výplň. Ve střední Evropě byl ve 12. a 13. století nejrozšířenější typ stavby komorový dům ze dřeva, který měl k sobě navázaný krytý průjezd na dvůr. Od 13. do 15. století se tvořila tzv. lidová architektura, ta si svou podobu zachovala až do 20. století. Tento styl architektury byl navíc velmi ovlivněn tím, v jaké lokalitě se stavba stavěla, záleželo totiž na tom, jaký druh materiálu je zde dostupný. Zajímavostí je, že k opracování kulatiny, hraněných i polohraněných trámů se až do 16. století používala pouze sekera, od této doby pak i pila. Ve 14. století se pomalu začaly stavět i domy z kamene a cihel, od 16. století zažilo cihlářství velký rozvoj, proto bylo dřevo postupně používáno jen do stropů, příček nebo krovů. Tato situace panovala prakticky až do poloviny 20. století. [12, 13]

Jak vidíme, dřevo si našlo své uplatnění již od pradávna, a zachovalo si přízeň lidí až dodnes. Postupem času jej však začala nahrazovat nepálená, či později pálená cihla, ale své místo v konstrukcích si zachovává stále. Využívá se hlavně na pomocné konstrukce staveb, krovy, podlahy, ale i na celé nosné či výplňové konstrukce. V dnešní době má svoji významnou roli při projektování pasivních domů či dřevostaveb. Použitelnost dřeva do konstrukcí závisí hlavně na jeho vlastnostech, které jsou ovlivněny strukturou dřeva. [13]

3 Dřevo a jeho vlastnosti

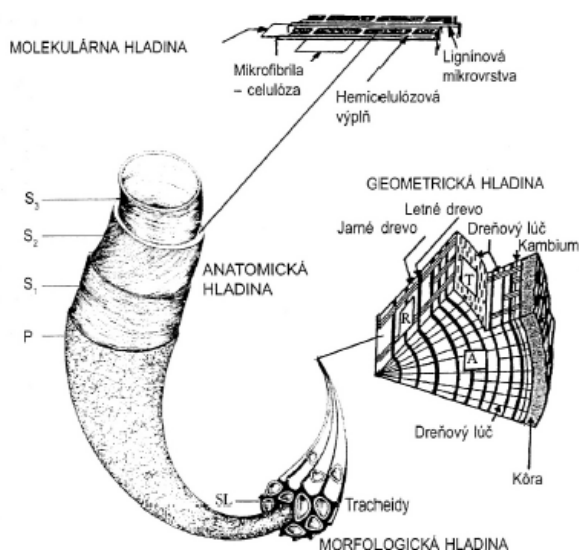
3.1 Základní charakteristiky dřeva

Dřevo je organický, anizotropní, nehomogenní, hygrokopický biopolymer rostlinného původu, který tvoří celkem až 90 % objemu stromu. Anizotropie dřeva zásadně ovlivňuje jak fyzikální, tak i mechanické charakteristiky, a to v na sebe kolmých směrech. Struktura je ovlivněna druhem dřeviny, klimatem a typem půdy, ve které dřevina roste. Pominout nelze ani různé růstové anomálie ve struktuře látky. [8, 16]

Mezi výhodné vlastnosti dřeva řadíme velmi dobrou pevnost, nízkou objemovou hmotnost, snadnou opracovatelnost či malou tepelnou vodivost. Opomenout nesmíme ani to, že jde o přirozeně obnovitelnou surovinu, která je navíc estetická. Mezi nevýhody poté řadíme nízkou odolnost biologickým škůdcům či atmosférickým vlivům, hořlavost, proměnlivost vlastností na základě působení vlhkosti a velkou náročnost na ošetřování a údržbu. [8]

Dřeviny můžeme rozdělit na listnaté či jehličnaté, tyto skupiny dále shodně dělíme na měkké či tvrdé, není však dána přesná hodnota hranice mezi měkkým a tvrdým dřevem. Můžeme také uvažovat rozdělení dřevin dle původu, a to na tuzemské, domestikované a dovážené. [8]

Strukturu dřeva rozlišujeme na hladiny molekulární, anatomickou (submikroskopickou), morfologickou (mikroskopickou) a geometrickou (makroskopickou) (viz Obr. č. 2). V molekulární struktuře, nazývané i primární struktura, definujeme jednotlivé komponenty dřeva, jejich strukturu a fyzikálně-chemický stav. [16]



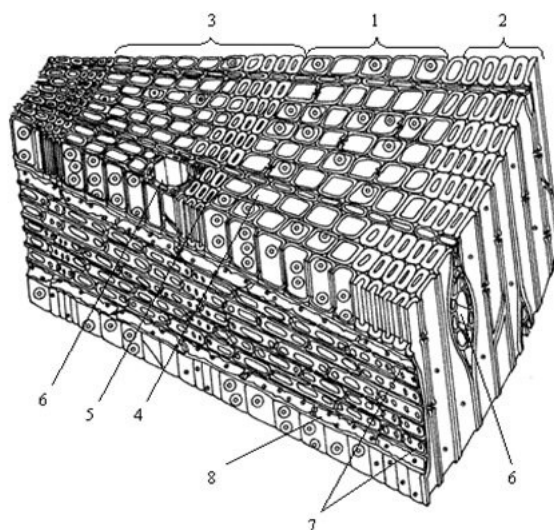
Obrázek 2 - Hladiny dřevní hmoty [16]

Z chemického hlediska rozlišujeme ve dřevě celulózu, hemicelulózu a lignin. Doplnujícími složkami jsou pryskyřice, vosky, barviva, třísloviny, tuky, alkaloidy a jiné minerální látky. Molekulární struktura značně ovlivňuje trvanlivost a průběh degradačních procesů u dřeva. Degradačními procesy jsou například hniloba, hoření či atmosférická koroze. Nejrychleji za zvýšené teploty, vlivem enzymů hub či hydrolýze kyselinami degraduje hemicelulóza. Nejméně odolný vůči UV záření je lignin. Z chemického hlediska se všechny dřeviny skládají ze stejných prvků v přibližně stejném procentuálním zastoupení. Těmito prvky jsou uhlík (49 %), kyslík (43 %), vodík (6,1 %) a dusík (0,3 %) ve zbytku objemu se pak nachází vápník, hořčík, fosfor, sodík či draslík, a jiné. [8]

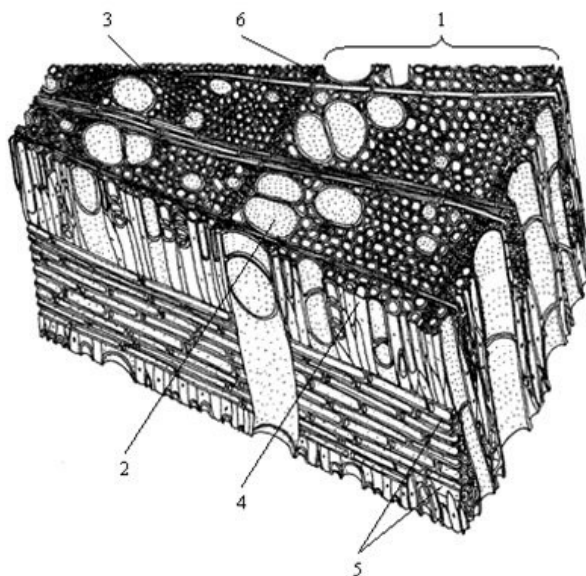
V anatomické struktuře neboli sekundární struktuře, definujeme stavbu stěn jednotlivých buněk, rozlišujeme jejich vrstevnatost či lokalizaci, a podíl jednotlivých stavebních polymerů (celulóza, hemicelulóza, lignin). Lokalizujeme taktéž další látky ve formě fibril, a také amorfní výplň jednotlivých vrstev. Anatomická struktura je závislá primárně na druhu dřeva a typu buněk. Stěna buňky se skládá z několika vrstev, kterými jsou primární a sekundární buněčné stěny, a také střední lamely. Primární buněčná stěna je tvořena náhodně orientovanými fibrilami, které jsou spojeny do mnohovrstvé sítě, a také poměrně velkým množstvím ligninu. Sekundární buněčnou stěnu můžeme nazvat taky sendvičovou, jelikož je většinou tvořena ze tří jednotlivých vrstev, které odlišujeme díky rozdílné tloušťce a orientaci jednotlivých fibril. Střední lamela je pak tvořena převážně z ligninových granulí. To, že jsou fibrily uspořádány nepravidelně ve své orientaci, a také to, že uspořádání polysacharidů, ligninu i dalších doprovodných látek je nehomogenní, ovlivňuje jak míru náchylnosti k poškození dřeva, tak jeho odolnost působení vody, či jeho pevnosti. Pokud bychom anatomickou stavbu dřeva chtěli podrobit bližšímu zkoumání, museli bychom použít elektronový mikroskop. [16]

Obecně se dřevo skládá ze tří typů buněk, kterýmiž jsou buňky parenchymatické (vyživovací, vodivé a zásobní elementy), buňky sklerenchymatické (vyztužovací elementy) a cévy (vodivé elementy), které se dále dělí na tracheje (pravé cévy) nebo tracheidy (cévice). Tyto buňky tvoří tzv. morfologickou stavbu dřeva (taktéž se jí říká terciální). Dřevo z jehličnanů má jednodušší stavbu než dřevo z listnatých stromů. Primárními prvky tvořící strukturu buněk jehličnanů jsou tracheidy, ty tvoří až 94 % dřeva. Zbýlých 6 % tvoří buňky parenchymatické (viz Obr. č. 3). Dřevo z listnatých stromů má stavbu poněkud složitější, jelikož je tvořeno větším množstvím buněk, které mají své specifické funkce. Jsou zde přítomny

tracheje, tracheidy, libriformní buňky (dřevní vlákna) a parenchymatické buňky (viz Obr. č. 4).
[33]

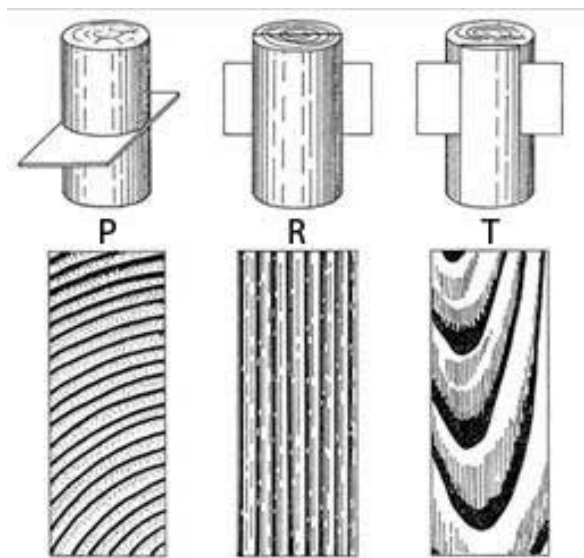


Obrázek 3 - Morfologická struktura jehličnatého dřeva [33]



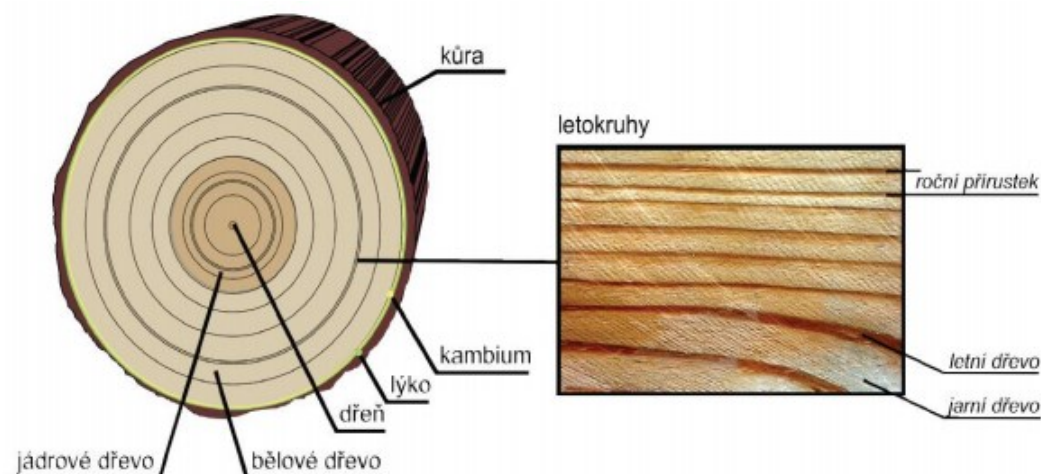
Obrázek 4 - Morfologická struktura listnatého dřeva [33]

V geometrické neboli makroskopické struktuře dřeva popisujeme vrstvy, které můžeme vidět pouhým okem či po zvětšení lupou. Doteď jsme se pohybovali pouze v mikroskopické struktuře, což znamená, že tyto prvky jsme mohli vidět jen pod mikroskopem. Makrostrukturu dřeva nejlépe můžeme pozorovat na řezech. Celkem rozlišujeme 3 směry řezů – transverzální (P), radiální (R) a tangenciální (T) (viz Obr. č. 5). Na transverzálním (příčném) řezu můžeme pozorovat kůru, kambium, dřevo (běl, jádro, vyzrálé dřevo) a dřeň (viz Obr. č. 6). [16]



Obrázek 5 - Řezy dřevem, P (příčný), R (radiální), T (tangenciální) [12, 33]

Kůra zaujímá až 25 % objemu stromu a skládá se ze tří částí – lýka (vnitřní vrstva, přiléhá ke kambiu, vede živiny), felodermu (rostlinné pletivo, obsahuje chlorofyl) a borky (odumřelá vnější vrstva kůry, chrání proti vnějším vlivům). Kambium se nachází mezi lýkem a dřevem, nemůžeme jej vidět pouhým okem, jelikož jeho tloušťka je v řádech mikrometrů. Tato vrstva zodpovídá za to, že strom může růst. Dřevo se nachází mezi kůrou a dření, barevně jej dělíme na běl, jádro a vyzrálé dřevo. Běl je světlou částí dřevní hmoty, která vede vodu a ukládá látky do zásoby, s výškou se tato část zužuje. Jádro je centrální tmavá část kmene, barvu této části dodávají u jehličnanů živice, u listnatých stromů pak např. třísloviny. Vyzrálé dřevo je podobné jádrovému dřevu, nachází se v centrální části, avšak není od běle barevně odlišeno. Dřeň se většinou nenachází v geometrickém středu kmene, má kruhový či oválný tvar, v průměru pak má od 2 do 5 mm, s ostatními vrstvami dřeva je spojena dřeňovými paprsky, které vedou produkty fotosyntézy z lýka do dřeva a dřene. Jedná se o nejstarší a také nejměkčí část dřeva, často v této části také dřevo praská. V příčném řezu jsou okem viditelné hlavně letokruhy. Šířka letokruhu má významný vliv na fyzikálně-mechanické vlastnosti dřeva. Rozlišujeme jarní (světlejší) a letní (tmavší) přírůstky dřeva. Na letním dřevu závisí mechanické charakteristiky dřeva. [8]



Obrázek 6 - Řez dřevem s popisem jednotlivých vrstev [8]

3.2 Fyzikální vlastnosti dřeva a další vybrané vlastnosti

Hustota dřeva

Termín hustota dřeva definuje objemovou hmotnost dřeva, je to však odlišná hodnota než hustota dřevní hmoty. Hustota dřevní hmoty se rovná přibližně hodnotě 1500 kg/m^3 . Tato hodnota je určena hustotami jednotlivých složek dřeva (celulózy a ligninu). Tabulkově se u hustoty dřeva pohybujeme od hodnoty 400 kg/m^3 do 700 kg/m^3 , závisí pak na druhu dřeva a jeho vlhkosti. S rostoucí vlhkostí (více navázané vody) roste také objemová hmotnost (viz Tab. č. 1). [18]

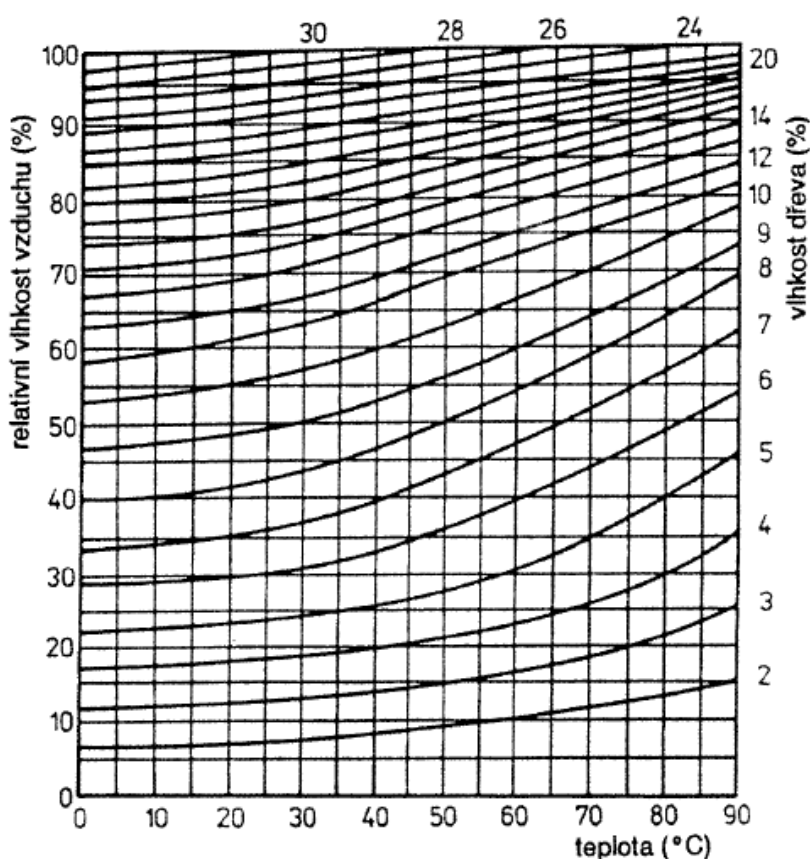
Tabulka 1 - Objemové hmotnosti dřeva [12]

Dřevina	Objemová hmotnost dřeva (kgm^{-3})		
	čerstvě vytěženého	při vlhkosti 15 %	při vlhkosti 0 %
dub	920 - 1 300	690	650
buk	900 - 1 240	720	680
modřín	800	590	550
borovice	900	520	490
jedle	850	450	410
smrk	850	470	430

Vlhkost dřeva

Vlhkost značí množství vody obsažené ve dřevě. Uvádí se většinou v procentech. Významně ovlivňuje vlastnosti dřeva, jak již bylo zmíněno, je na ní přímo závislá objemová hmotnost dřeva. Vlhkost dřeva je velmi ovlivněna prostředím, ve kterém je dřevo umístěno.

Dřevo, které bylo pokáceno, má okamžitou vlhkost až 170 % (v průměru kolem 100 %), časem vysychání na vzduchu se nejčastěji dostává pod hodnotu vlhkosti 20 %. Přirozeně vysychající dřevo nikdy nedosáhne hodnoty vlhkosti 0 %, dosáhne však tzv. rovnovážného stavu (hygroskopická rovnováha), což závisí na ustálené vlhkosti okolního prostředí a vlhkosti dřeva (viz Obr. č. 7). V souvislosti s vlhkostí dřeva můžeme zavést pojmy sesychání a bobtnání dřeva. Sesychání je proces, kdy je snižována vlhkost dřeva, a to pak zmenšuje své rozměry. Bobtnání je pak proces opačný, kdy dřevo navazuje do sebe vlhkost a zvětšuje své rozměry. Rozměrové změny také závisí na rychlosti, kterou je dřevo vysoušeno. Dřevo sesychá a bobtná v každém směru (podélném, příčném a tangenciálním) jinak. Absolutně vysušené dřevo v průměru seschne v podélném směru o 0,2 %, v radiálním směru v průměru o 5 % a v tangenciálním nejčastěji o 15 %. Toto vysychání, které neprobíhá rovnoměrně, způsobuje objemové změny. Jako málo sesychavé můžeme označit dřeva z tisu, olše či topolu, jako středně sesychavé dřeva smrku, dubu nebo jedle, poslední skupinou jsou dřeva hodně sesychavá, kterými jsou modřín, buk či lípa. [18]



Obrázek 7 - Nomogram hygroskopické rovnováhy dřeva [12]

Elektrické vlastnosti

Elektrické vlastnosti závisí na vlhkosti dřeva. Suché dřevo je velmi dobrý izolant, s rostoucí vlhkostí a teplotou se elektrický odpor u dřeva velmi snižuje. Nejmenší je měrný elektrický odpor dřeva v podélném směru vláken, napříč vlákny je dvakrát vyšší. [12, 13]

Tepelné vlastnosti

K tepelným vlastnostem dřeva řadíme tepelnou vodivost a teplotní délkovou roztažnost. Jelikož má dřevo malou objemovou hmotnost, je pórovité, a i samotná vodivost dřevní hmoty je malá, tak i dřevo samotné má malou tepelnou vodivost. Díky malé tepelné vodivosti je dřevo výborným izolačním materiálem. U dřevěných konstrukcí nemusíme počítat s účinky od teplotních změn, ani provádět dilatační spáry, protože dřevo je velmi málo teplotně roztažné. [12, 13]

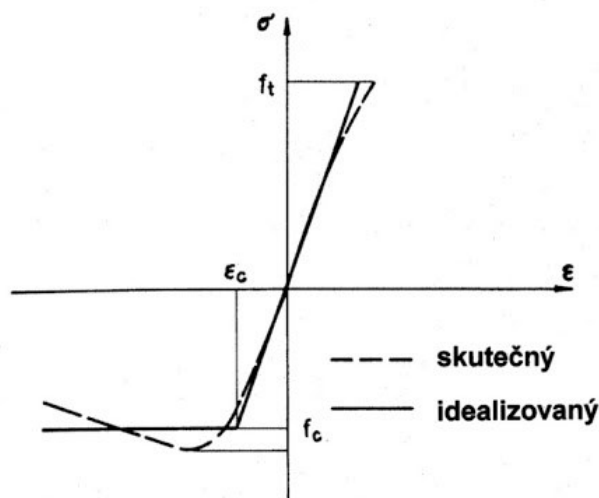
Akustické vlastnosti

Akustickými vlastnostmi rozumíme zvukovou vodivost, pohltivost a průzvučnost. Průměrná zvuková pohltivost dřeva je $4500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ v podélném směru a $1000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ v příčném směru vláken. Pokud by se měla vyjádřit zvuková pohltivost v procentech, jednalo by se přibližně o 50 % dopadající energie. [12, 13]

3.3 Mechanické vlastnosti dřeva

Pružnost dřeva

Pružnost dřeva je veličina popisující velikost deformace, která byla způsobena mechanickými vlivy (*viz Obr. č. 8*). Je to vlastně schopnost vrátit se do svého původního tvaru po odlehčení zatížení. Čím má dřevo vyšší vlhkost, tím je jeho modul pružnosti nižší. S rostoucí objemovou hmotností roste i modul pružnosti, který uvádíme nejčastěji v megapascálech. Pokud porovnáme moduly pružnosti v tlaku, tahu a v ohybu, dostaneme skoro tytéž hodnoty, proto se modul pružnosti dřeva udává pouze jedním číslem. Hodnoty modulu pružnosti ve směru vláken jsou asi desetkrát až dvacetkrát větší kolmo na vlákna. [18]



Obrázek 8 - Pracovní diagram dřeva [30]

Pevnost dřeva

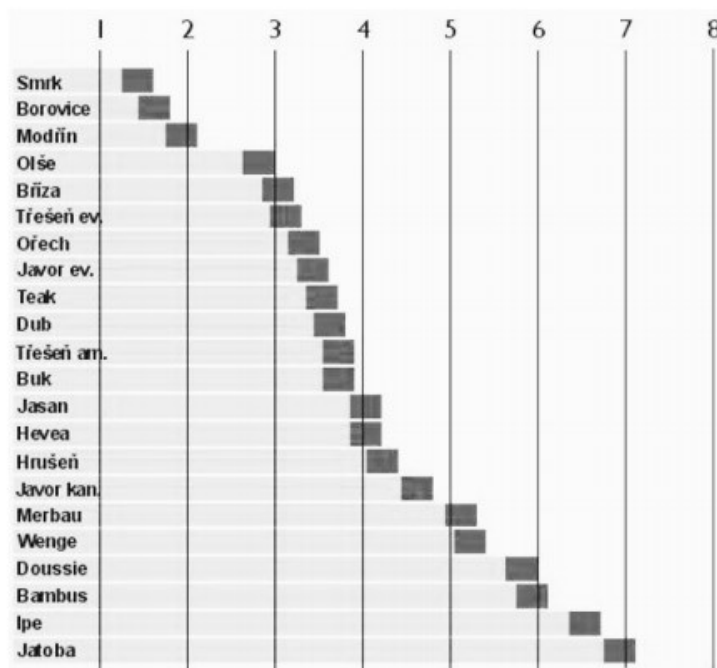
Tato veličina udává maximální hodnotu síly, která může působit na těleso, než dojde k jeho porušení, zpravidla pevnost vztahujeme k průřezovým rozměrům, které jsme naměřili na vzorku před zatěžováním v lisu. Pevnost se udává v tahu, tlaku, ohybu, smyku a kroucení. Hodnoty pevnosti dřeva v tlaku či tahu se velmi liší ve směru vláken a podél vláken. Jednotlivé pevnosti poté určují třídu pevnosti dřeva dle ČSN EN 338, v této normě nalezneme tabulku, kde pomocí hodnot pevností (v tahu i tlaku) určíme třídu pevnosti. Písmeno „C“ v této tabulce udává dřevo jehličnatých stromů a „D“ dřevo listnatých stromů (viz Tab. č. 2). [5, 18]

Tabulka 2 - Třídy pevnosti dřeva [5]

Třídy pevnosti dřeva podle normy ČSN EN 338										Tab. 4.144					
	Topol a jehličnaté dřeviny									Listnaté dřeviny					
	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Pevnostní vlastnosti (N/mm ²)															
Ohyb	14	16	18	22	24	27	30	35	40	30	35	40	50	60	70
Tah rovnoběžně s vlákny	8	10	11	13	14	16	18	21	24	18	21	24	30	36	42
Tah kolmo na vlákna	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
Tlak rovnoběžně s vlákny	16	17	18	20	21	22	23	25	26	23	25	26	29	32	34
Tlak kolmo na vlákna	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6,0	6,3	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Smyk	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Tuhostní vlastnosti (kN/mm ²)															
Průměrný modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	7	8	9	10	11	12	12	13	14	10	10	11	14	17	20
Průměrný modul pružnosti kolmo na vlákna	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Průměrný modul pružnosti ve smyku	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25

Tvrдост dřeva

Tvrдост dřeva udává schopnost materiálu odolávat vnikům těles, které mají různý tvar, do jeho povrchu. Tvrдост dřeva ovlivňuje zejména objemová hmotnost, anatomická stavba dřeva, vlhkost dřeva a samozřejmě směr vláken. Tvrдост určujeme při 12% vlhkosti. Tvrдост při 12% vlhkosti je určující, abychom dřeviny mohli členit na měkké (tvrдост do 40 MPa), středně tvrdé (od 40 do 80 MPa) a tvrdé (nad 80 MPa) (viz Obr. č. 9). [8, 18]



Obrázek 9 - Tvrдост dřeva dle Brinella [12]

Pozn.: 1-2 měkké dřevo, 2-3 polotvrdé dřevo, 3-4,5 tvrdé dřevo, 4,5-8 velmi tvrdé dřevo.

Štípatelnost dřeva

Štípatelnost je schopnost dřeva se dělit na části vnikem klínu. Je ovlivněna vlhkostí, objemovou hmotností, anatomickou stavbou a směrem vláken.

Ohýbatelnost dřeva

Ohýbatelnost je schopnost změnit tvar dřeva vlivem vnějších sil, a po odstranění těchto sil a zatížení si získaný tvar udržet. Tato vlastnost je ovlivněna zejména množstvím ligninu, který je obsažen ve dřevě. Dřevo s vyšší vlhkostí je více ohýbatelné než dřevo suché. Nejlépe se dá dřevo ohýbat vlivem tepla a vlhka, lze však použít i chemické metody. Dřevo, které se ohýbalo, se fixuje ve svém tvaru vysušením. [8]

Houževnatost dřeva

Houževnatost dřeva je schopnost odolávat rázovému, dynamickému namáhání. Při tzv. přerážecí zkoušce zjišťujeme energii potřebnou k porušení dřevěného vzorku o rozměrech 20×20×300 mm. Rázovou houževnatost vypočítáme jako poměr energie a příčných rozměrů zkušebního tělesa. Tuto zkoušku provádíme Charpyho kladivem. Rázová houževnatost dřeva je značně ovlivněna vadami, násilným sušením, či impregnací dřeva. Podle vzhledu lomu zařídíme dřevo na jakostní (lom třískovitý, dlouze vláknitý), nekvalitní (lom hladký), a průměrně jakostní dřevo (lom zubovitý). Nejhouževnatější dřevo má dub, buk, tis nebo smrk. [8]

3.4 Přirozená trvanlivost dřeva

V první řadě je potřeba zmínit, že pojem „přirozená trvanlivost dřeva“ se v praxi nedá přesně definovat, jelikož tato trvanlivost je ovlivněna množstvím faktorů.

Strukturou dřeva je předurčena jeho trvanlivost. Přítomnost tříslovin a živic značně ovlivňuje schopnost dřeva odolat hmyzu či houbám. Krystalická celulóza má vliv na odolnost dřeva vůči houbám, lignin pak způsobuje vyšší odolnost vůči hoření. Kombinace polysacharidů a ligninu ve stěnách buněk značně ztěžuje prostup hub, a tím je pak zpomalen hnilobný proces. Naopak látky na bázi síry, fosforu, draslíku či hořčíku způsobují nižší odolnost vůči houbám. Buňkami, cévami, vlákny a ztenčením stěn buněk se rychleji šíří bakterie a houby. Pokud má dřevo více běle, jarního dřeva a čelních ploch, způsobuje to jeho nižší trvanlivost.

Obecně lze říct, že na trvanlivost dřeva má největší vliv struktura dřeva a odlišnosti v ní. Odlišnosti jsou dány zejména druhem dřeva, klimatickými podmínkami či půdními podmínkami při růstu stromu. Druhým největším vlivem na trvanlivost je expoziční zatížení dřeva, tím se rozumí, zda je dřevo umístěno v interiéru či exteriéru a jakým je vystaveno podmínkám či klimatu, které je v každé části světa jiné.

Jednotliví činitelé způsobující degradaci dřeva často působí dost specificky, což je dáno odlišnostmi ve struktuře dřeva a expozicí. Někteří činitelé například působí pouze na dřevo z jehličnanů, další pak na dřevo ze stromů listnatých. Také záleží, zda je dřevo umístěno v interiéru či exteriéru, jaké je roční období, či na jaké polokouli se právě nachází.

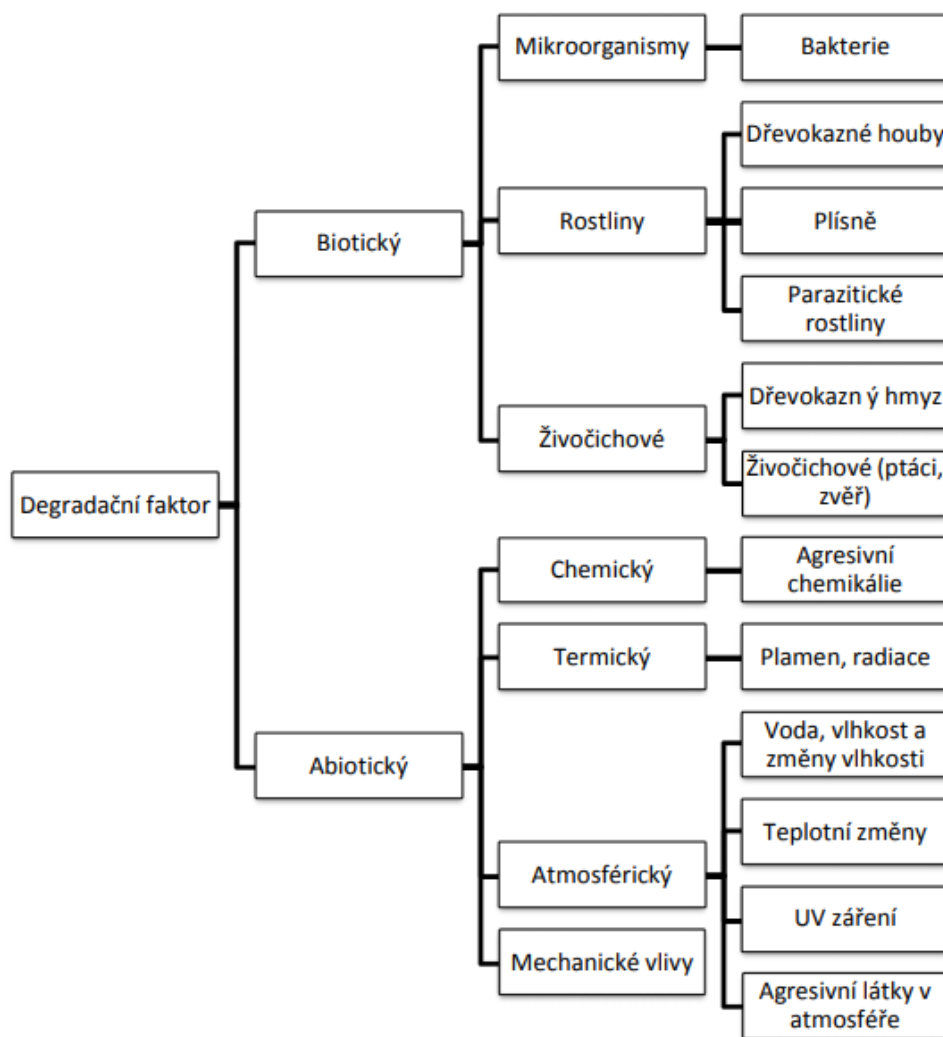
Třísloviny a jiné látky způsobující vyšší trvanlivost dřeva se mohou časem vyluhovat či vyprchat, a tím přirozená trvanlivost dřeva klesá. [16]

Trvanlivost dřeva je nejvíce závislá na tom, jaké dřevo je použito, a kde je umístěno. Pokud je dřevo umístěno v prostředí, kde je dostatek vzduchu, není vystaveno atmosférickým vlivům a není ani v kontaktu se zemínou, udává se životnost smrkového dřeva až 75 let, bukového dřeva až 95 let, u modřínu a borovice poté hovoříme shodně o trvanlivosti až 120 let a nejtrvanlivější z našich dřevin je dub se životností až 200 let. Pokud bychom chtěli tuto vlastnost popsat obecněji, můžeme říct, že dřeviny s bělovým jádrem jsou méně trvanlivé než dřeviny s tmavým jádrem. Významně však trvanlivost dřeva zkracuje trvalý styk se zemínou. [18]

Konstrukční ochrana dřeva vychází z fyzikální ochrany. Jejím principem je využívání vhodných druhů dřeva pro dřevostavby, altány, dveře, krovy a jiné dřevěné konstrukce. Dalším faktorem pro správnou konstrukční ochranu je vhodný výběr vstupních materiálů, a to zejména jejich kvality. Je také nutno zajistit trvalou nízkou vlhkost v konstrukci tak, aby nevznikaly vhodné podmínky pro život škůdců.

3.5 Způsoby degradace dřeva

Typickou vlastností rostlého dřeva je, že je degradovatelné různými vnějšími vlivy. Abnormality a poškození vznikají již při růstu, či následné těžbě dřeva a jeho transportu. Odolnost dřeva a výrobků z něj je dána jak strukturou dřeva, tak jeho umístěním v interiéru nebo exteriéru, a nakonec i jeho chemickým ošetřením. Vlivem vlhkosti se zhoršují mechanické vlastnosti dřeva, při trvalém vystavení působení vody dochází k napadení dřeva biotickými škůdci, kteří mohou způsobit kolaps prvku či celé konstrukce. Pokud srovnáme jiné vnější degradační faktory (např. povětrnostní vlivy či UV záření) je působení vody nejvýznamnějším degradačním faktorem, i tak je však nutné dřevo chránit proti dalším vlivům. [18, 19] Na následujícím schématu (*viz Obr. č. 10*) jsou zobrazeny různé druhy degradací, které se vyskytují u dřeva a dřevěných konstrukcí.



Obrázek 10 - Degradační schéma dřeva [8]

3.5.1 Biotické degradační vlivy

Pro napadení biotickými (biologickými) škůdci, kterými jsou bakterie, plísně, houby či dřevokazný hmyz, je nutná přítomnost vlhkosti, dostatečného tepla pro přežití škůdců, a také přístup vzduchu. Houby můžeme rozdělit na dřevozbarvující nebo dřevokazné. Dřevozbarvující houby spolu s plísněmi nezpůsobují přímý rozklad dřeva, ale vytváří ideální podmínky pro napadení dřevokazným hmyzem nebo houbami, které již působí na dřevo destruktivně. [13, 19]

Bakterie

Pokud bychom porovnali vliv bakterií, hub a hmyzu, tak bakterie nemají až tak zásadní vliv na poškozování dřeva. Bakterie jsou schopny procházet buněčnou stěnou pouze v jejích ztenčeninách, napadají celulózu a hemicelulózu, lignin je bakteriím odolný. Pokud dřevo napadnou bakterie, projeví se to zejména zbarvením dřeva, jeho měknutím a mírným poklesem

pevnosti, pokud je již dřevo napadeno houbami, mohou bakterie přispět k celkové degradaci. [18]

Dřevokazné houby

Houby potřebují k přežití vlhkost dřeva od 18 % do 20 %, což odpovídá relativní vlhkosti vzduchu od 85 % do 90 % a teplotu od 2 - 4 °C do 35 - 40 °C. V interiéru takovýchto podmínek dosáhneme například, když do objektu zatéká či dojde k havárii vody, v exteriéru těchto podmínek dosáhneme vždy (v našich podmínkách). Houby po napadení dřeva prorůstají dřevní hmotou, ničí chemické vazby, což má za následek nižší pevnost konstrukcí. Dle toho, jakou složku dřeva dřevokazné houby napadají, je dělíme na ligninovorní a celulózovorní. [13, 16]

Ligninovorní houby způsobují tzv. bílou hnilobu. Napadají zejména lignin, méně pak celulózu a hemicelulózu, napadáno je ve vyšší míře dřevo listnatých stromů. Je méně agresivní než houby, které způsobují hnědou hnilobu. Z praxe lze říci, že ligninovorní houby jsou závislé především na přísunu vlhkosti, pokud odstraníme zdroj vlhkosti, tak přestávají růst nebo i umírají. U nás se tento typ hub nevyskytuje ve vyšší míře. [16]

Celulózovorní houby způsobují tzv. hnědou hnilobu. Napadají zejména celulózu, hemicelulózu (polysacharid), napadáno je především dřevo z jehličnatých stromů. Dřevo napadené hnědou hnilobou postupně žloutne a hnědne, kostkovitě se rozpadá, je méně pevné a křehčí, až se nakonec rozpadne na prach. Tyto houby mohou prorůstat i zdivem. Pokud těmto houbám zamezíme přístup k vlhkosti, tak jejich růst nezastavíme ani je neusmrtíme, jak by tomu bylo u ligninovorních hub. [16]

Obecně lze říci, že se houby šíří dřevní hmotou velmi rychle a způsobují její fatální rozpad. Pokud je chceme odstranit, musíme vyjmout poškozené prvky a části, které následně vyměníme za nové. Nejznámější houby jsou dřevomorka domácí, koniofora sklepní či trámovka.

Dřevomorka domácí (*Serpula lacrymans*) je nejnebezpečnější celulózovorní houbou a zároveň nejméně náročnou na podmínky okolí. Vyhovují jí teploty do 30 °C a vlhkost 20 % bez přístupu proudícího vzduchu, proto se jí nejlépe daří pod podlahami, ve sklepech či na krovech. Projevuje se bílými až šedobílými povlaky (viz Obr. č. 11), popřípadě plodnicemi hnědé barvy, na okrajích jsou pak bílé. Způsobuje, že dřevo tmavne, hnije, a nakonec se i rozpadne na prach. Zajímavostí je, že je schopna se nepozorovaně šířit objektem či konstrukcí pomocí tzv. rhizomorf, což jsou vlastně provazce, kterými proniká a prorůstá

i zdivem či betonem, a hledá jimi přísun živin ve vzdáleném dřevěném prvku. Rychlost růstu těchto útvarů je až 2 metry za rok. Zároveň je schopna si sama produkovat vlhkost svým metabolickým procesem. [16, 27]



Obrázek 11 – Dřevomorka domácí, foto pořízeno autorem

Koniofora sklepní (*Coniophora puteana*) je celulózovorní houba, které vyhovují teploty až do 35 °C a vlhkost okolo 40 %. Dřevo, které je napadeno touto houbou je zprvu mokré, žlutohnědé a později hnědne (viz Obr. č. 12). Stejně jako dřevomorka domácí způsobuje, že se dřevo rozpadá, a později je z něj prach. Jedná se o druhou nejnebezpečnější houbu u nás. Rozkládá jak dřevo jehličnatých, tak i listnatých stromů a napadá zdravé, ale vlhké dřevo. Většinou se šíří z povrchu do nitra konstrukce či dřevěného prvku. Po tom, co rozloží celulózu, začne rozkládat i lignin. [16, 38]



Obrázek 12 - Koniofora sklepní [38]

Trámovka (*Gloeophyllum*) je celulózovorní houba působící jak v interiérech, tak i v exteriérech, nejlepší prostředí pro její působení je všude tam, kde zatéká. Existuje jich několik druhů, např. trámovka jedlová, trámovka plotní či trámovka trámová. Pro svůj růst potřebuje teplotu od 36 °C do 46 °C. Klobouk má specificky kruhový nebo půlkruhový (viz Obr. č. 13), vyskytuje se na opracovaném dřevě listnatých či jehličnatých stromů, které rozkládá. V některých případech neplodí, a tak hniloba probíhá skrytě uvnitř dřevěného prvku, po dlouhé době se pak prvek celý bortí a rozpadá se ve tvaru kostek. [16, 38]



Obrázek 13 - Trámovka [38]

Dřevokazný hmyz

Dřevokazný hmyz, zejména jeho larvy, požírají dřevní hmotu, budují v ní chodbičky, které jsou různě velké i tvarované, a tím dřevo degradují. Takto poškozené dřevo pak má při stejném objemu mnohem nižší mechanické vlastnosti. Obecně můžeme dřevokazný hmyz rozdělit do tří skupin. První skupinou je dřevokazný hmyz, který napadá rostoucí dřeviny, či maximálně dřeviny nedávno pokácené. Druhou skupinou je dřevokazný hmyz, který napadá zpracované dřevo, což je v oblasti stavebních konstrukcí nejzávažnější. Třetí skupina je dřevokazný hmyz, který napadá již shnilé dřevo. Tento hmyz buduje své chodbičky zejména proto, aby měli potravu a kde klást vajíčka. Dřevokazným hmyzem rozumíme různé druhy brouků, jejichž životní vývoj se skládá ze dvou fází, a to z fáze larvy, a poté dospělého brouka. Larva se vylíhne po cca 8 – 20 dnech z vajíčka, požírá dřevo, čímž se vyhlubují chodbičky ve dřevu. Larva žije v průměru 1 rok, po uplynutí této doby se zakuklí někde u povrchu dřeva a vyvíjí se až 20 dní. Brouk, který se vylíhne, se musí prokousat malou vrstvou dřeva a vyletí tzv. výletovými otvory ven ze dřeva. Brouk žije 1 – 6 měsíců. Až je brouk dospělý, naklade vajíčka do dřeva, a tím se celý proces opakuje stále dokola.

Aby se hmyz ve dřevu udržel, potřebuje pro svůj život vlhkost dřeva od 12 % do 18 %, této vlhkosti je dosaženo v prostředí, kde je vlhkost vzduchu mezi 60 % a 80 %. Příjemná teplota je mezi 20 °C a 30 °C. Larvy přežijí teploty od – 20 °C do + 50 °C. Často se stává, že hmyz do dřeva donese i houby či plísně, čímž se dřevo ještě více poškodí. Nejběžnějším hmyzem poškozující dřevo jsou tesařici a červotoči. [3, 16, 18, 19]

Červotoč proužkovaný (*Anobium punctatum*) je velký cca 4 mm (viz Obr. č. 14), objevuje se na jehličnatém dřevu, výjimečně na listnatém. Napadá dřevo, které je již zpracované několik let (např. nábytek). Charakteristickým znakem červotočů je, že napadají pouze dřevo, které je na vnitřní straně místnosti, nikoli vnější straně. Larvy vrtají chodby zejména do letokruhů jarního dřeva. Přežívá i v teplotách kolem 46 °C. [16, 26]



Obrázek 14 - Červotoč proužkovaný [25]

Červotoč umrlčí (*Anobium pertimax*) je velký cca 5 mm (viz Obr. č. 15), objevuje se na jehličnatém i listnatém dřevu, které je vystaveno zimním mrazům. Usazuje se zejména ve střešních trámech u zděných domů, u dřevostaveb se zdržuje zejména v konstrukčních částech krovu a na trámech v rozích místností. [16, 26]



Obrázek 15 - Červotoč umrlčí [25]

Tesařík krovový (*Hylotrupes bajulus*) je velký od 10 mm do 20 mm (viz Obr. č. 16), napadá jehličnaté dřevo u podlah, trámů, sloupů či plotů. Jedná se o jednoho z největších škůdců dřeva. Napadá dřevo přístupné z volného prostoru, do konstrukce se může tesařík dostat i se dřevem, které bylo napadeno již v lese. Tesařík vyhledává dřevo, které je umístěno na slunných místech, protože pro svůj růst potřebuje teplo. Nesnáší dobře výkyvy teplot, proto vyhledává krytá místa, například i pod dřevěnou mazaninou. [16, 26]



Obrázek 16 - Tesařík krovový [25]

Pokud bychom chtěli identifikovat, jestli je dřevěný prvek napaden tesaříkem nebo červotočem, mohou nám pomoci výletové otvory, které má každý druh specifické. Červotoč má tyto otvory velké od 0,5 mm – 5 mm, některé zdroje uvádějí od 1 mm – 3 mm, ze kterých vypadává požerkový prášek, tzv. drť. U tesaříků jsou pak tyto otvory oválné, o velikosti od 4 mm do 10 mm, některé zdroje uvádějí od 3 mm. Tesařík jimi opouští dřevo s požerkovým práškem. Je tedy zřejmé, že červotoče od tesaříka rozlišíme poměrně snadno, jelikož velikost výletových otvorů se liší přibližně dvojnásobně. [16, 26]

3.5.2 Abiotické degradační vlivy

Poškození dřevní hmoty abiotickými vlivy způsobují neživí činitelé, jako jsou povětrnostní vlivy, účinky slunečního záření, požáry či cyklické změny teplot či extrémní teploty. Obecně lze rozdělit abiotické vlivy na atmosférické, fyzikální a chemické.

Atmosférická degradace

Atmosférickou degradaci působí většinou více faktorů, jak chemických, tak fyzikálních. Degradačními činiteli jsou voda, vzdušný kyslík, agresivní plyny, sluneční záření (UV záření, IR záření) nebo různé druhy proudění (laminární či turbulentní). Spadají sem také degradace větrem, prachem nebo pískem. Tyto faktory působí v tzv. synergickém účinku, což znamená, že ke změnám materiálu dochází daleko rychleji, než kdyby jednotlivé faktory působily

postupně (jako příklad lze uvést případ, kdy působí relativní vlhkost vzduchu, vysoká teplota a přítomnost vzdušných polutantů). Atmosférická degradace je typická pro venkovní expozici, tato degradace je typickým příkladem přirozeného stárnutí dřeva. Ve stavebních konstrukcích jako jsou stropy či krovy nebývají projevy atmosférické degradace velké, jelikož zde nepůsobí mnoho abiotických vlivů. [16]

Fyzikální degradace

Fyzikální degradace se projevuje zejména změnou obsahu vlhkosti ve dřevě, čímž se dřevo rozpíná či sesychá, a tím zvětšuje či zmenšuje své rozměry. Ve dřevu těmito změnami vzniká pnutí, které může vést až k borcení. Pokud je průběh změny vlhkosti pozvolný, tak důsledky tohoto působení nemusí znamenat tak zásadní změny v konstrukci. Naopak pokud je změna vlhkosti skoková tak dřevěné prvky zaznamenávají vysoké vnitřní pnutí, a tím je poté poškození fatálnější. Objemové změny mají na svědomí změnu významných mechanických vlastností, jako jsou pevnost, modul pružnosti, tvrdost, rázová houževnatost či soudržnost. Jako destruktivní lze označit teploty pod $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nad $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vlhkosti okolního prostředí pod 50 % a nad 60 %. [16, 23]

Chemická degradace

Jako chemickou degradaci označujeme reakci dřeva na působení agresivních chemikálií, jako jsou zásady, kyseliny či jejich soli. Tyto chemikálie se dostávají ke dřevu ve formě plynů, kapalin, solí nebo past. Lépe chemickým vlivům odolávají jehličnaté dřeviny, méně pak dřeviny listnaté. Chemická degradace je způsobena i kyselinami, např. kyselinou octovou nebo fталovou. Dále pak můžeme zmínit peroxid vodíku či alkálie (hydroxid sodný či amonný), které způsobují, že dřevo rychleji bobtná, a také sesychá. Pokud dřevo poškodí kyselina, sníží se zejména jeho mechanické charakteristiky. Míra chemické degradace závisí na délce působení dané chemikálie na konkrétní prvek, a také na teplotě, při které agresivní látka působí. [16, 23]

4 Metody preventivní ochrany dřeva

4.1 Primární úprava suroviny

Již od starověku byla některým metodám během zpracovávání dřeva věnována velká pozornost a dodržovaly se některé zásady, které mají značný vliv na budoucí vlastnosti, životnost a použití dřeva do konstrukcí. Zejména se zmiňují tyto vlivy:

Doba těžby

Je obecně známo, že stromy by se měly kácet v době vegetačního klidu. Starší zdroje také uvádí, že nejlepší doba pro kácení je, když měsíc ubývá, údajně i větve uřezané právě v tomto období nehnijí. Autoři se též shodují, že je nejlepší provádět kácení na etapy, tzn. naříznout kmen dokola, nechat zaschnout, a pak teprve pokácet. [19]

Zpracování dřeva po kácení

Dřevo, které bylo pokáceno je vhodné co nejdříve zbavit kůry a lýka, na tomto faktu se shodují autoři napříč generacemi, omezíme tak riziko napadení plísněmi a zdržování škůdců ve dřevě. Čerstvé dřevo by ani nemělo být plně vystaveno ovzduší, jak uvádí některé historické prameny, jelikož dřevo by pak mohlo vysychat velmi nerovnoměrně, tím pak praskat a bortit se. Nemělo by tedy ležet na místě, kde silně působí vítr, či svítí přímé slunce, naopak má být umístěno na velmi stinném místě. Staré prameny taktéž uvádí možnost ošetření čerstvě pokáceného kmene hnojem od hovězího dobytka. Tato metoda měla ovlivnit (zmenšit) počáteční vysychání či zmrtnit dřevní hmotu. Další možností je zakopání dřeva do země nebo ponoření do vody. Optimální doba takového ošetření by měla být tři měsíce. V minulosti byl vliv vlhkosti zajištěn již při přepravě dřeva, jelikož bylo klasicky využíváno plavení vorů. Pokud chceme dřevo vyjmout z vlhkého prostředí, měli bychom takto učinit zase až po novoluní. Tyto informace však nejsou úplně doložitelné a exaktní, proto je uvádíme spíše pro zajímavost než jako fakt. Jako faktickou informaci můžeme uvést, že dřevo nemá být dále zpracováváno, pokud by bylo pokryto vrstvou ledu, sněhu, či rosy. [19]

Sušení dřeva

Původní vlhkost dřeva je nutno snížit na hodnoty pohybující se od 15 do 25 % podle toho, o jaké dřevo se jedná, a na co má být dále využíváno. Minimální doba přirozeného vysychání by měla být podle starých autorů a pramenů minimálně 3 roky (jedná-li se o dřevo, které má být následně využito jako stavební dřevo), či dokonce i několikanásobně déle, pokud se dřevo

bude využívat například na nábytek či hudební nástroje. Dřevo lze samozřejmě vysušit uměle v sušárnách (až na hodnotu vlhkosti okolo 10 %), ale takto rychle vysušené dřevo je schopno zase rychle do sebe vodu navázat. Při sušení dřeva vznikají výsušné trhliny, jejichž příčinou je vysoký vlhkostní gradient v průřezu dřeva. Počet, velikost a tvar těchto trhlin je dán druhem, rozměrem a tvarem daného sušeného dřevěného prvku. Většinou bývá trhlina krátká, úzká a mělká. Nebezpečím při suchém skladování kulatiny jsou výrazné trhliny, které mohou zasahovat až do středu kmene či více radiálních trhlin v kulatině, na které je ponechána kůra. Podstatně ovlivňují vznik trhliny i podmínky, za kterých se dřevo suší. Při velmi rychlém sušení vzniká v daném prvku napětí, a tím zvyšuje pravděpodobnost vzniku trhliny. I pokud je dřevo sušeno na slunci je velká pravděpodobnost, že bude praskat. Preventivní ochranou proti vzniku výsušných trhlin způsobených sluncem je, že kulatinu ihned po skácení umístíme na stinné, vzdušné místo. Trhliny přitom narušují strukturu, tím snižují pevnost a dřevo také křehne. Doba suchého skládkování dřeva před jeho dalším zpracováním by neměla být dlouhá, protože podstatná část sušení by měla probíhat regulovaně, nejlépe až po zpracování na jednotlivé druhy řeziva či polotovary pro další výrobu. [16, 19]

4.2 Fyzikální a konstrukční ochrana dřeva

Fyzikální ochrana dřeva je založena na úpravě podmínek, kterým je dřevo vystaveno. Pro regulaci se používá úprava vlhkosti, teploty nebo jiných fyzikálních parametrů jak dřeva, tak okolního prostředí. Cílem této ochrany je, aby byl maximálně omezen vznik a rozvoj jak abiotických, tak biotických škůdců. Hlavními metodami fyzikální ochrany je suchá ochrana dřeva, mokrá ochrana dřeva a sterilizace dřeva fyzikálními metodami. [16, 35]

Suchá ochrana dřeva

Biologičtí škůdci potřebují pro svůj život vodu, pokud vlhkost dřeva klesne pod kritickou hranici, tak se jejich degradační aktivita zastaví nebo daného škůdce zahubí. Technologie suché ochrany je založena na poznatcích o podmínkách, které jsou potřebné pro přežití dřevokazných hub, plísní, dřevokazného hmyzu a dalších biologických škůdců. Dřevokazné houby potřebují ke svému přežití vlhkost nad 20 % a dřevokazný hmyz vlhkost nad 10 %. Pokud vlhkost klesne pod tyto hodnoty, je zabráněno další aktivitě těchto škůdců. Hlavní úlohou je alespoň snížit dobu působení vlhkosti na konstrukci, a tím omezení vzniku biologického napadení dřeva.

Prvním způsobem suché ochrany dřeva je už ochrana kulatiny a řeziva. Těžbu, přepravu i skladování kulatiny je nejlepší provádět v zimním období, to však při celoroční těžbě nebo při kalamitách není možno dodržet. Dřevo je nutné chránit nejen před dřevozbarvujícími houbami a dřevokazným hmyzem, ale i před trhlinami vzniklými při nerovnoměrném vysychání dřeva. Nejrychleji se vysouší odkorněná kulatina, kulatina z listnatého dřeva těžného v zimě, která je ponechána v kůře vykazuje na podzim vlhkost až 60 % zatímco kulatina z jehličnatého dřeva už maximálně 40 %. Nejvíce se prosouší dřevo kácené v létě, ale na podzim má stále větší vlhkost než dřevo ze zimní těžby. Další podrobnosti jsou již uvedeny v kapitole 3.1. [16]

Druhým způsobem suché ochrany je ochrana výrobků ze dřeva, ať už jde o dřevostavby, okna, dveře nebo jiné dřevěné prvky v konstrukci, a to v návaznosti na jejich expoziční umístění. Expoziční podmínky je možno regulovat pomocí konstrukční ochrany dřeva, která bude rozebrána později, jejíž součástí je právě suchá ochrana. [16]

Mokrý ochrana dřeva

Mokrý ochrana dřeva se využívá zejména při skladování kulatiny. Tato metoda ochrany se v některých případech stává metodou konstrukční ochrany, např. u sloupů, které jsou vsazovány hlouběji do země či do vodních toků. Díky trvalé přítomnosti velkého množství vody se dodnes dochovaly některé historické artefakty nalezených archeologickými průzkumy. Principem mokré ochrany tedy je udržovat vlhkost v dřevě na a/nebo nad hranici, kdy už nemohou přežívat různé biotické škůdci. Trvalou vlhkostí však dřevo nechráníme jen proti houbám či plísním, ale i proti vzniku trhlin. Dřevo je schopno si pod hladinou vody či v zemi schopno uchovat svoje vlastnosti po dobu i několika tisíc let. Nejpoužívanějšími metodami jsou postřik vodou či ponoření pod hladinu vody. Ojediněle je pak možno použít třeba uložení do vlhkých pilin, pod zem, zmrazení či nátěr čel čerstvé kulatiny. Zajímavou metodou je i uložení kulatiny pod fólii. [16, 35]

Nejrozšířenější je však postřik či máčení ve vodě. Kulatina se smí ošetřovat postřikem, pokud teplota trvale neklesá pod 15 °C. Na skládce se vytváří mikroklima, ve kterém je vysoká relativní vlhkost vzduchu, čímž je předcházeno poklesu vlhkosti na kritickou hranici minimální vlhkosti, která je nutná pro přežití dřevokazných hub či škůdců. Doba, po kterou můžeme dřevo vystavovat postřikům, se liší podle doby těžby a druhu dřeviny. Doba postřiku vodou se udává v hodinách za den. Intenzita postřiku poté udává objem vody v litrech, který dopadne na jeden metr čtverečný skládky za minutu. Nejintenzivněji se postřikuje dřevo buku či jiného druhu

listnaté dřeviny. Máčení (nebo také i bazénování) je způsob, jak dřevo uchovat v trvalém stavu nasycení vodou i několik let. Pokud ponoříme pod vodu dřevo, které již bylo částečně proschlé, hrozí jeho zbarvení, např. zhnědnutí. Technologie se provádí buď v přírodních nádržích (jezerech) nebo v umělých bazénech. [16, 35]

5 Historické metody ochrany povrchu dřevěných konstrukcí

5.1 Preventivní metody ošetření povrchu nepoškozeného dřeva

Omítky a mazaniny

Omítky byly používány celkem běžně na ochranu jak vnějších, tak vnitřních částí povrchu konstrukce roubených či hrázděných staveb. Nejčastěji hliněné mazaniny pak byly používány jako běžná součást konstrukce dřevěného stropu. Ochranné účinky jak omítek, tak mazanin jsou patrné pouze tehdy, když je dřevěný prvek umístěn v suchém prostředí, protože chrání před vlivem povětrnosti a znesnadňuje přístup hmyzu k povrchu dřeva. Pokud je však dřevo umístěno ve vlhkém prostředí, tak omítka i mazaniny zvyšují vlhkost ve dřevu a udržují ji v něm. Naopak pokud je dřevo vystaveno krátkodobě zatékání vody, tak hliněná mazanina je schopna vodu do sebe absorbovat a postupně potom vysychat. Omítky a mazaniny, zejména opět ty hliněné, udržují trvalou teplotu ve dřevě, a tím vytváří ideální podmínky pro přežití dřevokazného hmyzu.

Pokud bychom chtěli aplikovat omítku na dřevěný prvek zabudovaný v konstrukci, musíme se vypořádat s tím, že dřevo samo o sobě je hladký materiál a nebude na něm omítka držet. Nejčastěji se vápenné omítky z husté vápenné kaše a písku aplikovaly na rákosovou rohož, která byla připevněna k dřevěnému prvku pomocí tenkého drátu. (viz Obr. č. 17) Dřevěné prvky byly nejprve natřeny vápenným mlékem, pak se v jedné nebo dvou vrstvách (na sebe kolmých) aplikoval loupaný rákos, a to i přes spáry, jelikož sloužil i k vyrovnání podkladu. Do rákosu se omítka vtlačovala v těstovitém stavu, tloušťka této vrstvy (omítky i s rákosem) by neměla být větší než 3,5 cm. Později byl rákos nahrazen ocelovým pletivem. Zajímavostí je, že v poslední čtvrtině 18. století, za doby josefínských reforem, bylo nařízeno, v rámci protipožárních opatření, všechny spalné konstrukce opatřit dostatečnou ochranou. Pro tuto ochranu se používaly na původní trámové stropy s viditelnými trámy záklopy z rákosu opatřené omítkou. Taktéž se této kombinaci říká rákosová omítka. [10, 23]



Obrázek 17 - Rákosová rohož s vápennou omítkou sýpka, foto pořízeno autorem

Hliněná mazanina byla aplikována na rubové strany povalových stropů a také na vnější strany roubených stěn. Vrstva této mazaniny bývala natolik silná, že tuto konstrukci můžeme nazvat jako tzv. dřevohliněnou. Kromě toho, že mazanina chránila dřevo samotné, tak poskytovala také zvýšení požární odolnosti konstrukce, a také lepší tepelně-izolační vlastnosti roubené stěny, včetně zvýšení tepelného odporu dřevohliněné stěny a dobré akumulace tepla. Vrstva hliněné mazaniny také měnila celkový vzhled konstrukce, jelikož zakryla veškeré viditelné dřevo, a také zaoblila hrany. Povrch mazaniny ještě býval opatřen vápenným nátěrem. Těmto stavbám se také říkalo dům v kožichu, tento typ staveb je typický zejména v Polabí, jelikož zde byla dostupná hlína k výrobě mazaniny požadované kvality. [20]

Výroba a aplikace hliněné mazaniny

Hlína byla nejprve promíchána se slámou či jiným vazným a vylehčovacím prostředkem, který zajišťuje soudržnost mazaniny. Do směsi se přidala voda a vše se spolu hnětlo, následně pak aplikovalo na dřevěnou konstrukci. Podklad byl tvořen kolíky ze dřeva zatlučenými kolmo dolů, aby bylo zabráněno případnému sesunutí mazaniny. V jedné vrstvě se aplikovala na stropy či podlahy, ve dvou vrstvách na stěny. Pro zajímavost lze zmínit, že se mazanina nepoužívala pouze na dřevěné stavby, ale také na hliněné, zděné či z lomového kamene. V hrázděných částech domů se ponechávala pouze spodní, hrubší vrstva mazaniny, která vlastně byla jakousi dekorační povrchovou úpravou. [19, 20]

Obklady

Zejména hrázděné a roubené stavby se od 19. století chránily různými druhy obkladů, a to v exponovaných polohách např. v horských oblastech či na západních štítech. Jako obklad se používaly prkna, šindele, břidlice či eternit. V 19. století se začalo používat i oplechování některých částí staveb. Obklad chrání celkem dobře a účinně dřevo proti vlhkosti, díky tomu, že se začalo používat obkládání, se zachovalo mnoho starších konstrukcí, které byly předtím narušeny, z toho vyplývá, že lze takto chránit i částečně poškozené dřevo. Pokud bychom však chtěli použít obklad jako ochranu proti dřevokaznému hmyzu, nebylo by to příliš dobré řešení, jelikož obklad naopak může poskytovat lepší teplotní podmínky, které jsou nutné k přežití těchto škůdců. Obklad je také jednou z metod, jak dřevo chránit proti požáru. [19]

Opalování

Pokud je dřevo opáleno do hlubších vrstev dojde k jeho zuhelnatění. Vrstva zuhelnatělého dřeva se následně kartáčuje a napouští oleji. Tato metoda chrání dřevo proti vlivům povětrnosti, biologickým činitelům či UV záření. Chrání však také proti samotnému ohni, jelikož díky karbonizaci povrchu je dřevo takřka nehořlavé a doba vznícení je tak podstatně vyšší. Nejstarší dřevěné prvky ošetřené touto metodou byly kůly sloužící jako ochrana vsí nebo jako ohrada. Ve stavbách se nachází takto opalované zdi či příčky venkovských stavení. Pod vrstvou spáleného dřeva zůstává dřevo zdravé a zachovává si své vlastnosti, jako je pevnost či pružnost. Nejvhodnějším dřevem k opalování je smrkové, modřínové, ale také dubové či lipové. Podstatným faktem je, že se dřevo musí opálit ze všech stran, aby se uzavřelo.

Jako příklad toho, že i dřevo postižené ohořením nemusí nutně znamenat jeho totální destrukci, může sloužit konstrukce vyhořelé útulny Libušín na Pustevnách. V nově vybudované budově je dle původních technik opracováno veškeré dřevo, a také byly použity ohořelé trámy a umístěny zpět do nosných stěn (*viz Obr. č. 18*). [24, 35]



Obrázek 18 - Použití ohořelých trámů na Libušínu, foto pořízeno autorem

Nátěry

Lidé se už od minulosti snažili nátěry vylepšit vlastnosti dřeva, používali pro to různé oleje, např. olivový, cedrový či lněný, dále pak vosky či mořskou sůl, tyto metody však neměly zjevný účinek. V roce 450 př. n. l. použil Herodotos ke zlepšení protipožárních vlastností síran hlinito-draselný. Jako ochrana proti ohni se používaly i různé vápenné roztoky, později i vodní sklo. Účinné nátěry proti biologickým škůdcům lze datovat od 16. století, kdy se dřevo začalo ošetřovat chloridem rtuťnatým a oxidem arzenitým. Tyto látky však byly vysoce toxické a dnes se nepoužívají. [16]

Nátěry chrání povrch dřeva, neslouží však primárně jako sanace ani jako impregnace. Často také barevné nátěry zlepšují estetický dojem z konstrukce. Některé druhy nátěrů mají však i sanační a konzervační účinky. Vrstva nátěru nechrání obvykle dřevo trvale a je nutno ji po čase obnovit. Nátěry nesmí být neprodyšné (např. asfalt), jelikož by poskytoval ideální podmínky pro napadení houbami, do jisté míry však povrch dřeva uzavírá každý nátěr. Pokud je dřevo trvale vystaveno vlhkosti, pak jej nátěr dostatečně nechrání, a je nutné takovéto dřevo impregnovat. [19]

Nátěry vápenné a hlinkou

V minulosti se vyskytovaly nátěry vápenné i hlinkou zřejmě mnohem častěji, než je patrné na konstrukcích dnes. Používaly se jak v interiéru, tak v exteriéru, jako povrchová ochrana. Vrstvy těchto nátěrů musely být často obnovovány, jelikož jejich životnost byla nízká. Obnova však byla účinná zejména jako ochrana proti biotickým činitelům. Povrch dřeva nebyl

uzavřen, přesto však nátěr chránil i proti povětrnosti. Vápenný nátěr, který byl aplikován přímo na trámy, byl důležitou metodou konzervace dřeva. Vápenné nátěry se vyznačují svou nehořlavostí, osvědčovaly se hlavně na neopracovaném dřevě, jelikož na něm mají lepší přídržnost než na dřevu opracovaném a hladkém. Jako bílicí materiál se používá klasické dobře vyhašené bílicí vápno. Nátěr by měl být aplikován kulatou štětkou ve dvou vrstvách, přičemž druhá vrstva se mohla později aplikovat i nástřikem. [7, 11]

Hlinky různých barev se přidávaly např. do hliněných omítek, aby je zbarvily. Nejznámější hlinky neboli přírodní pigmenty jsou okr, satinobr, kaselská hněd' nebo tuha. [22]

Nátěry organického původu

Zvláštní skupinou látek, které se používaly jako povrchová ochrana dřeva, jsou nátěry organického původu, jako jsou např. krev, mléko či tuk, jejichž účinnou složkou je v těchto případech např. albumin či kasein. V dnešní době není tato metoda ošetřování rozšířená, jelikož nejsou dopodrobna známy technologie výroby těchto nátěrů či je ošetřování těmito metodami časově, technicky i materiálově náročné, tudíž i finančně náročné.

Volská krev se používala jako ochrana dřeva, která dodávala dřevu ušlechtilou patinu a jemný lesk. Tento nátěr chránil dřevo před napadením biotickými škůdci, vlhkostí, a také sloužil jako protipožární ochrana. Do krve se přidávaly různé přísady, většinou se nepoužívala čistá krev. Těmito přísadami jsou např. fermež, zvířecí žluč či moč, vápno, oxidy železa pocházející z hlín, saze či sůl, ale i další přírodní látky. To, že nátěry volskou krví obsahují i protipožární látky však v minulosti nebylo známo. Některé z uvedených přísad však bylo možno použít k ošetřování dřeva i samostatně. Nátěr s volskou krví se používal i jako interiérová barva s ochrannou funkcí, pokud byl použit např. na podlahy či stropy, byl následně povrch ošetřen teplým voskem a vyleštěn. Výroba tohoto nátěru však byla spojena se zápachem, který vznikal při rozkladu krve a dalších biologických složek. Krev se nechávala 14 dní stát na teplém místě, nebo se rozkladný proces urychlil zahříváním nádoby, ve které byla krev, následně se odebrala sraženina z krve na povrchu. Pro rozklad organických látek bylo možné využít i pyrolýzu, která je spojena s uvolňováním dusíku. Zápach z tohoto nátěru však časem zmizí. [28]

V dnešní době se při rekonstrukcích historických objektů přistupuje k původním technologiím. Proto byl vytvořen užitečný vzor [39] pod záštitou úřadu pro průmyslové vlastnictví, který uvádí složení a technologický postup výroby nátěrové hmoty na bázi krevního

albuminu, kterou lze použít pro povrchovou úpravu dřeva. Majitelem tohoto vzoru je Valašské muzeum v přírodě se sídlem v Rožnově pod Radhoštěm, Mendelova univerzita v Brně a Ústav teoretické a aplikované mechaniky akademie věd České republiky v Praze. Tento vzor je určen pro nátěrovou hmotu, která nebude vystavena vnějším vlivům. Její použitelnost se tedy omezuje na interiérové použití. Nátěrová hmota v sobě kombinuje přírodní pojivo a barvivo, což je protein albumin a hemoglobin, a další organické či anorganické přísady, kterýmiž mohou být hašené vápno, žluč, vaječný bílek nebo kasein. Nátěr je založen na principu denaturace krevního proteinu v alkalickém prostředí hašeného vápna, to vede ke zvýšení stability proteinu jakožto hlavní účinné složky. Přísady všeobecně mají vliv na výsledné vlastnosti nátěru, např. kasein nebo lněný olej jsou taktéž organickými pojivy, hovězí žluč je pak emulgátorem, který snižuje povrchové napětí vody mezi látkami, které se nemísí (voda, olej). V dokumentu [39] bylo stanoveno 5 receptur k povrchové úpravě dřeva vyplývajících z historických receptur, které jsou použitelné pro různé varianty povrchové úpravy. Základní princip je však pro všechny receptury stejný. Vhodným poměrem hovězí krve a vápna lze docílit různých odstínů výsledného nátěru. Škála barev, kterých lze dosáhnout tímto nátěrem je široká, barvy mohou být světle či tmavě okrové, červené až cihlové, nebo i hnědé přes odstíny zelené. Krev se odebírá již při porážce zvířete do dvojité nádoby se studenou vodou, aby se čerstvá krev mohla chladit. Je nutno krev stále míchat a odebírat případné sraženiny, až do úplného vychladnutí, poté je možno přidávat další přísady. Přísady různě ovlivňují vlastnosti nátěrů, doba reakce složek pak má vliv na výslednou barvu nátěru. Pokud například chceme, aby měl nátěr lepší mechanické vlastnosti, přidáme k hovězí krvi hašené vápno, kamenec hlinitodraselný, žitnou mouku, živočišný klíh, hovězí žluč a vodu. Dalším druhem nátěru může být takový, který je odolný zvýšené vlhkosti v interiéru, to přidáme k hovězí krvi hašené vápno, odtučněný tvaroh, vaječný bílek a lněný olej. Pokud by byl nátěr použit do vnějšího zastřešeného prostředí přidal by se k základu z krve a hašeného vápna tvaroh, vaječný bílek, lněný olej či fermež, hovězí žluč, kamenec hlinitodraselný a přírodní pryskyřice (viz Obr. č. 19).

Tyto nátěry se aplikovaly i aplikují ručně pomocí kulatého štětce, jiné technologie nátěru nelze uplatnit kvůli viskozitě nátěrové hmoty a způsobu, jak se na sebe váží jednotlivé vrstvy. Hmota se nanáší v několika vrstvách vždy na zaschlou vrstvu pod ní. Hmota schne v řádu desítek minut. Konečných vlastností nátěru bývá dosaženo po deseti dnech. [28, 36, 39]



Obrázek 19 - Ošetření vnějších částí konstrukce volskou krví [28]

Přírodní minerální barvy

Tato metoda ochrany se používala zejména na severu Evropy po celá staletí jako ochrana dřevěných fasád zejména proti povětrnostním vlivům. Nejznámější a nejrozšířenější je minerální barva tzv. falunská červeň. Historie této barvy sahá až do 16. století, protože ve Falunu byl mechanizován měděný důl, domy v okolí se tak natíraly důlním kalem. Přišlo se na to, že tento nátěr chrání dřevo lépe než jiné druhy nátěrů, začalo se tedy experimentovat se složením těchto nátěrů. Základní složkou je tedy vypálená červená zemina, voda, pšeničná či žitná mouka, lněný olej a zelená skalice. Nátěr není vhodná např. pro podlahy, protože nemá dostatečnou odolnost proti otěru. [28, 36]

Pryskyřice, vosky

Pryskyřice a vosky se u konstrukčních částí objektů téměř nepoužívaly. Jedná se o látky, které jsou konzervační a zpevňující. Pokud je například potřeba zpevnit, a tím zachovat, památkově cenný strop či roubenou konstrukci používají se právě roztoky pryskyřic a vosků.

Dřevní tér nebo také dřevní dehet se vyrábí z pryskyřic jehličnatých stromů, nejčastěji z kořenů borovice. Vyrábí se za nepřístupu vzduchu za vysokých teplot stejně jako dřevěné uhlí, jedná se o tzv. suchou destilaci dřeva. V minulosti jej vyráběli dehtaři a smolaři, bohužel o tomto řemeslu není zachováno příliš mnoho podkladů. Nátěr nanesený na dřevo chrání konstrukci před vlivy povětrnosti, houbám, hnilobě, škůdcům a UV záření. [16, 36]

Karbolineum

Karbolineum neboli „karbolka“ se používá od poloviny 19. století. Jedná se o produkt, který vznikne při destilaci kamenouhelného dehtu. Je vhodný pro impregnaci dřeva, které je trvale zabudováno v zemi, například může jít o železniční pražce nebo telefonní sloupky. Nátěr se používal i pro dřevěné konstrukce vystavené povětrnosti. Ať už byl nátěr z dehtu nebo karbolinea měnil typicky šedý vzhled dřeva na dnes známý hnědý až černý. V dnešní době se kvůli prokázaným karcinogenním účinkům dehtu upouští od těchto nátěrů, přetrvávají pouze v průmyslu, u již zmíněné impregnace železničních pražců či sloupů. [19]

Olej a fermež

Na rozdíl od pryskyřic či vosků byla fermež spolu s například lněným olejem, či obecně nátěry s olejovým pojivem používána i pro ochranu konstrukční části objektů vcelku běžně. Dřevo, které bylo vystaveno vlhkosti, jako například střešní šindele, se ošetřovalo teplou fermeží smíchanou často i s barvivem. Lněná fermež jsou semena lnu s přídavkem sušidla. Fermež nasákne do povrchových vrstev dřeva, které vytvrdí a zároveň ochrání před působením vody. Vlivem času nátěr žloutne až do jantarové barvy. [36]

5.2 Cílené moderní metody ochrany dřeva

Jelikož doba pokročila, vyvíjely se také metody ochrany dřeva. Dřevo můžeme chránit jak preventivně, tak dodatečně, a to chemicky či fyzikálně.

Chemické metody

Chemickou ochranu můžeme dle doby účinku ochranné složky rozdělit na krátkodobou a dlouhodobou. Dle hloubky průniku ochranné látky do dřeva můžeme rozdělit tuto ochranu na povrchovou (do 3 mm průniku), polohlubokou (průnik 3 – 6 mm) a hlubokou (průnik nad 6 mm). Způsob chemické ochrany se volí dle různých kritérií, mezi ně řadíme druh dřeva, sortiment použití dřevěného prvku (polotovary, výrobky), požadavky na třídu použití, požadavky na trvanlivost dřeva v dané konstrukci či požadavky na ochranu zdraví lidí a také životního prostředí. Aplikace chemických ochranných prostředků se provádí nejčastěji postřikem či nátěrem, máčením, poléváním či ponořováním, teplo-studenou koupelí a vakuovou či vakuotlakou impregnací.

Chemické ochranné prostředky mají být použity tam, kde selhaly veškeré metody jak fyzikální, tak konstrukční ochrany dřevěných prvků anebo je nelze použít či jsou málo

účinné. Chemické ochranné prostředky mají nejčastěji fungicidní či insekticidní účinky, popř. jejich kombinace, pokud je to potřeba ovlivňují i další faktory například odolnost proti povětrnostním vlivům. Dále musí splňovat schopnost rychle a rovnoměrně proniknout do dřeva jak při metodách, kdy není použito zvýšeného tlaku, tak právě i při vakuotlakých metodách. Chemické složky nesmí ovlivnit mechanické ani fyzikální vlastnosti dřeva. Velmi důležitým požadavkem na vlastnosti všech chemických ochranných prostředků je požadavek vyhovovat všem toxickým a ekologickým požadavkům. Jedná se především o přijatelnou toxicitu pro savce, neškodnost ošetřeného dřeva pro člověka i životní prostředí, a to po celou dobu trvání účinku nátěru, a v neposlední řadě také možnost bezpečné likvidace ošetřeného dřeva po skončení jeho služby v konstrukci. [16, 17, 43]

Fyzikální metody

Principem fyzikální ochrany je buď vytvořit ve dřevě a jeho okolí takové podmínky, aby bylo eliminováno či úplně znemožněno působení různých biotických a abiotických škůdců. Tomuto významu fyzikální ochrany byla věnována kapitola 4.2. V této části bude zmíněna fyzikální ochrana, která má za úkol zlikvidovat již vzniklá ohniska degradace biotickými škůdci a následně realizovat preventivní ochranná opatření tak, aby bylo zabráněno dalšímu napadení dřevěných prvků dalšími škůdci.

Nejvýznamnější metodou fyzikální ochrany je sterilizace dřeva fyzikálními metodami. Tyto metody jsou však krátkodobě působící, jelikož po ukončení jejich aplikace není dřevo, pokud je vystaveno nepříznivým podmínkám, chráněno před dalším. Z tohoto důvodu je tedy nutná aplikace dalších fyzikálních či již zmíněných chemických metod pro dlouhodobou ochranu dřeva. Jednou z možností sterilizace dřeva je sterilizace zvýšenou teplotou, což zahrnuje metodu umělého sušení dřeva, ohřev sálavým teplem či použití mikrovln. Pro usmrcení larev dřevokazného hmyzu je dostačující teplota okolo 50 – 60 °C, pro usmrcení zárodků dřevokazných hub je pak potřeba teplota o něco vyšší, a to 60 – 80 °C. Krátkodobě však výtrusy hub snášejí i teploty nad 100 °C proto je vhodné ohřev opakovat nebo minimálně udržovat teplotu v delším časovém intervalu.. Dalšími možnostmi sterilizace je například opalování, ozařování paprsky gamma či rentgenovými paprsky či působení UV nebo mikrovlnného záření. Pro usmrcení larev dřevokazného hmyzu lze použít působení ultrazvuku či vakua, a také zaplynování dřeva toxickými plyny (např. oxid uhličitý či kyanovodík). [16, 35]

5.3 Sbírkové předměty

K ochraně mobiliáře se nejčastěji používaly přírodní vosky či pryskyřice. Tyto metody se mohly omezeně objevit i v ochraně konstrukčních prvků spolu se smůlou, dehtem či asfaltem. Dalšími látkami, které měly být nápomocny při zlepšování některých mechanických a fyzikálních vlastností sbírkových předmětů jsou fermeže a oleje. Olej se nejčastěji používal lněný, který měl impregnační a zpevňující charakter, avšak ten nebyl nikterak významný, zvyšoval však hydrofobitu dřeva a odolnost proti bobtnání i sesychání. Zřejmě velmi rozšířenou metodou bylo ošetřování dřevěného podkladu obrazů roztokem kamence, arsenitých, arseničných a rtuťnatých solí, tuto metodu využívali renesanční malíři. Doplnkem této metody pak bylo napouštění horkým olejem a fermeží. V 19. století se objevují včelí vosky a pryskyřice spolu s vysychavými oleji, jejich vliv na mechanické charakteristiky však nebyl nikterak prokázán, nanejvýš mohl bránit průniku dřevokazného hmyzu či hub do dřeva. Jejich hlavní výhoda je vodoodpudivost, pokud by byla použita i pryskyřice došlo by ke zpevnění již degradovaného materiálu. Jak vosk, tak pryskyřice se vždy používají spolu s organickým rozpouštědlem, ve kterém je rozmíchán. Další metodou ošetření mohly být různé odvary z aromatického koření (např. hřebíček), které měly odpudit hmyz, mimořádný vliv však nebyl prokázán. [16]

II. Praktická část

V praktické části se budu nejprve zabývat popisem objektů, ze kterých jsem odebírala vzorky nátěrů pro svou práci. Vzorky nátěrů budu podrobovat zkoumání infračervenou spektroskopií, rentgenovou fluorescenční analýzou, a také termální analýzou. Popsány budou i jednotlivé přístroje, které jsou k těmto analýzám potřebné. Cílem je určit složky (sloučeniny a prvky), ze kterých byly tyto nátěry tvořeny. V další části se budu okrajově zmiňovat o nekonstrukčním prvku, který jsem podrobila také již zmíněným analýzám.

Pro simulaci ošetřování dřevěných prvků byla vybrána metoda ošetřování vápenným nátěrem, kterým byla ošetřena tělesa různých dřevin, na kterých byly následně zkoušeny vybrané mechanické i fyzikální charakteristiky. V závěru poté budou shrnuty veškeré poznatky, které byly zpozorovány při přípravě a zkoušení vzorků.

6 Popis objektů k odběru vzorků

Grossmanova vila

Grossmanova vila (viz Obr. č. 20) stavitele Františka Grossmana byla vystavěna v roce 1922 jako firemní i rodinné sídlo ve stylu art deco. Dnes je považována za jednu z nejzachovalejších a nejvýznamnějších prvorepublikových vil v Ostravě. Původní majitel v ní však nežil příliš dlouho, jelikož už 10 let po stavbě vily přišla světová hospodářská krize, kterou Grossman neustál a spáchal sebevraždu přímo ve vile. [15]



Obrázek 20 - Grossmanova vila Ostrava, foto pořízeno autorem

V interiérech se dochovalo i mnoho původní výzdoby či nábytku, dokonce i parket na podlaze. Na půdě vily potom najdeme pozoruhodné točité schodiště, které vede na vyhlídku, kdysi poskytovalo výhled na tehdejší industriální Ostravu. Dobový tisk uvádí, že cena této vily se ve své době mohla šplhat až ke třem milionům korun, jelikož byla plná historického porcelánu, soch a jiných artefaktů. Od roku 1998 je areál vily zapsán na seznamu kulturních památek, samotná vila je pak zapsána již od roku 1992. Evidenční list kulturní památky je volně dostupný na portálu národního památkového ústavu (*viz Příloha č. 1*). [15]

Pro potřeby této práce nás nejvíce budou zajímat krovy (*viz Obr. č. 21*), které jsou pravděpodobně ošetřeny vápenným nátěrem, který má dřevo chránit před škůdci. Ošetření je zde poměrně dost zachované, v souvislých tenkých vrstvách na všech dřevěných prvcích, které nebyly poškozeny vlivem vlhkosti či mechanickými vlivy. Voda v některých místech degraduje jak nátěry, tak i samotné dřevěné prvky, které jsou poté náchylnější k napadení houbami či plísněmi, což může vést ke kolapsu konstrukce. Kritickými místy jsou hlavně pozednice.



Obrázek 21 - Krov Grossmanovy vily, foto pořízeno autorem

Vzorky nátěru pro mou bakalářskou práci byly odebrány v září 2020 během workshopu, který probíhal právě v prostorách Grossmanovy vily, kde jsme prováděli základní diagnostický průzkum a navrhovali využití prostorů.

Vlastivědné muzeum Olomouc

Vlastivědné muzeum v Olomouci sídlí v bývalém klášteře klarisek s kostelem sv. Kláry (viz Obr. č. 22). Jedná se o komplex pozdně barokní architektury z 3. čtvrtiny 18. století. Na konci 18. století pak došlo k přestavbě vnitřního uspořádání. Původní klášter klarisek byl zřejmě založen po vzniku města Olomouc v roce 1340. Klášter byl zrušen v roce 1782 a přeměněn na kasárna, kostel byl pak v roce 1785 upraven na knihovnu. Krovky jsou původní, pozdně barokní, opatřené vápenným nátěrem s narůžovělým odstínem (viz Obr. č. 23). Jedná se o poslední významnější barokní stavbu v Olomouci. [40]



Obrázek 22 - Budova Vlastivědného muzea v Olomouci [41]

Přestavba pro potřeby krajského muzea proběhla mezi lety 1951 a 1956. V roce 2019 proběhla rekonstrukce původních krovů, při které byly částečně nebo zcela nahrazeny krovy, které byly rozsáhle napadeny dřevokaznými houbami a hmyzem. Krovky byly po celou dobu pod pečlivým dohledem Olomouckých památkářů, aby byly vyměněny jen ty části, které jsou napadeny. Během prací byl nalezen trám s původní datací z roku 1775. Budova je památkově chráněna od roku 1958 (viz Příloha č. 2).

Vzorek nátěru pro mou bakalářskou práci byl odebrán na podzim roku 2019, ještě před zahájením prací na opravách barokních krovů, v rámci exkurze do prostor muzea a krovů.



Obrázek 23 - Barokní krovy v budově Vlastivědného muzea, foto pořízeno autorem

Sýpka Velká Bystřice

Objekt bývalé sýpky ve Velké Bystřici u Olomouce je ve vlastnictví Metropolitní kapituly u svatého Václava v Olomouci (viz Obr. č. 24). První zmínky o objektu lze dohledat v dobových mapách, vzniklých kolem roku 1830. Jedná se o barokní zděnou stavbu ze smíšeného zdiva (cihly a kameny) o čtyřech podlažích. Půdorys je lichoběžníkový.



Obrázek 24 - Sýpka ve Velké Bystřici, foto pořízeno autorem

V přízemí jsou sloupy a stropní trámy opatřeny vápenným nátěrem v relativně souvislé vrstvě (viz Obr. č. 25). Dřevěné části objektu jsou napadeny dřevomorkou domácí. V době provádění

průzkumu a odebírání vzorků v lednu 2021 probíhala rekonstrukce objektu a kompletní oprava střechy. Sýpka není vedena jako památkově chráněný objekt, avšak majitel chce zachovat barokní ráz budovy a jeho historickou hodnotu. Plánované využití je jako muzeum místních tradic a ručních prací.



Obrázek 25 - Vápenné nátěry v objektu bývalé sýpky, foto pořízeno autorem

Barokní zrcadlo

Pro zajímavost bylo do této práce zahrnuto i barokní zrcadlo (*viz Obr. č. 26*), jehož nátěr na rámu byl podroben stejným analýzám jako vzorky nátěrů odebraných z konstrukcí objektů. Původ zrcadla není jasný, jelikož bylo pořízeno jako komplet spolu s toaletním stolkem ve starožitnictví.



Obrázek 26 - Barokní zrcadlo, foto pořízeno autorem

7 Instrumentální metody pro stanovení složek nátěrů

7.1 Metodika odběru vzorků

Základním principem odběru vzorků je, že se odebírají z míst, které jsou standardní, významné nebo kritické. Odběr vzorků musí být cílený, reprezentativní a reprodukovatelný. Každý vzorek je nutno řádně označit a následně jej umístit do nepropustného obalu (např. plastový box či uzavíratelný sáček) tak, aby bylo zabráněno jeho kontaminaci, popřípadě pokud by bylo nutné stanovit vlhkost, aby hodnotu nezkreslovaly okolní vlivy prostředí. [11]

Vzorky nátěrů odebraných z objektů byly podrobeny třem analýzám, nejprve rentgenové fluorescenční spektroskopii, následně infračervené spektroskopii a termické analýze. Metody fluorescenční spektroskopie a infračervené spektroskopie jsou nedestruktivní metody, při kterých není spotřebováván vzorek, lze tedy vzorek materiálu použít pro další analýzu, konkrétně termickou analýzu, při které je vzorek vystaven teplotnímu zatěžování.

Všechny přístroje použité k výše uvedeným analýzám a měřením jsou dostupné v Laboratořích stavebních hmot, Laboratoři termických analýz a Laboratoři mikroskopie Fakulty stavební Vysoké školy Báňské – Technické univerzity Ostrava.

7.2 Rentgenová fluorescenční analýza

Rentgenové záření je neviditelné krátkovlnné elektromagnetické záření ve vlnovém rozsahu od 10^{-8} do 10^{-11} m, což odpovídá 0,01-10 nm. Toto záření bylo pojmenováno po W. C. Röntgenovi, který jej při pokusech objevil v roce 1895. Objevil tak nové paprsky X, za což v roce 1901 obdržel Nobelovu cenu. Objev difrakce rentgenového záření na krystalové mřížce v roce 1912 se řadí mezi největší úspěchy přírodních věd minulého století.

Rentgenová fluorescenční analýza, běžně také označována jako XRF, je nedestruktivní analytická rychlá metoda k určení chemického složení materiálu, a to na základě detekce sekundárního neboli fluorescenčního spektra vybuzeného RTG zářením. Jedná se o jednu z nejuniverzálnějších metod anorganické analýzy, jelikož ji lze použít pro analýzu téměř všech prvků jak v pevném, tak kapalném skupenství. Lze současně analyzovat prvky, které jsou v materiálu zastoupeny pouze v malých koncentracích a zároveň i takové prvky, které jsou zastoupeny v desítkách procent. Výhodou je, že příprava vzorku pro tuto analýzu není složitá, jelikož u většiny dalších analytických metod se musí vzorek převádět například z pevného stavu do roztoku. Z toho pak vyplývá, že tato metoda je nedestruktivní, tudíž nepoškozuje vzorek, ten pak můžeme použít pro další metody zkoumání. Nevýhodou jsou meziprvkové ovlivnění,

kteří vyžadují použití referenčních materiálů pro kalibraci. Typicky se tato metoda používá v hutnictví, v průmyslu silikátů (analýza vápence, dolomitu či sádry), v chemickém průmyslu či kriminalistice.

Pro potřeby této práce byl použit přístroj NitonTM XL3t (viz Obr. č. 27). Přístroj je lehký, jednoduchý na ovládání, a také jednoduše použitelný přímo v terénu. Používá se k jednoduchému stanovení prvkového složení vzorků. Analyzovat lze jak práškový, tak kompaktní vzorek materiálu přímo v terénu za přístupu vzduchu. Přístroj umožňuje stanovit až 30 prvků, což je standardní analytický rozsah. Přístroj nabízí několik režimů – slitiny (kovů, elektroniky), drahé kovy, půda či těžba, plasty, a také je možnost nastavení vlastních režimů.



Obrázek 27 - Přístroj pro rentgenovou fluorescenční analýzu, foto pořízeno autorem

Proces, který probíhá v ručních XRF analyzátoch lze rozdělit do jednoduchých kroků. Prvním krokem je, že přístroj začne vyzařovat rentgenové paprsky, druhým krokem je, že paprsky, které dopadly na vzorek, v něm vyvolají fluorescenci a ta se detekuje v analyzátoru. Dalším krokem je měření energetického spektra, jež určí, které prvky a v jakém množství jsou přítomny. Přístroj potom tyto hodnoty seřadí dle procentuálního obsahu v analyzované látce. [6, 9, 31]

Jako první byly vzorky podrobeny právě rentgenové fluorescenční spektroskopii. Přístroj po zapnutí nastavíme na program horniny a minerály. Poté jednoduše přiložíme přístroj k povrchu vzorku, který může být práškový či kompaktní, zmáčkeme a držíme tlačítko na přístroji po celou dobu měření. Minimální doba pro analýzu každého vzorku byla 120 s, přičemž měření na každém vzorku proběhlo třikrát. Čím déle trvá ozařování vzorku,

tím přesnější procentuální zastoupení prvků v materiálu získáme. Výsledkem měření je tabulka s procentuálním zastoupením prvků v analyzovaném materiálu. Každé ze tří měření vždy probíhalo na jiném místě vzorku, popřípadě na jiné části práškového vzorku, aby byla zajištěna reprezentativnost měření.

Pro každý vzorek byla sestavena tabulka s prvky a jejich procentuálním složením pro každé ze tří měření. Na konci bylo vyhodnocováno, jaké prvky se opakují nejčastěji. Relevantnost zastoupení stopového množství prvků je nutné individuálně posuzovat. Například zlato (Au) je součástí měřicího přístroje, takže v případě měření vzorku zrcadla se stopovým množstvím zlata, nemusí tento prvek pocházet z analyzovaného vzorku.

V kapitole č. 8 jsou uvedeny konkrétní výsledky jednotlivých analýz vzorků nátěrů. Souhrnně lze říct, že nejvyšší zastoupení v každém z nátěrů je vápník (Ca), jelikož jsou to většinou nátěry vápenné. Na dalších místech se nejčastěji objevuje síra (S) či křemík (Si). Síra může pocházet z kamence (síranu hlinito-draselného), který se do vápenných nátěrů přidával jako retardér hoření. [16] Dalším častým retardérem bývaly amonné soli, a to ve formě síranů nebo fosforečnanů. Vyšší obsah síry může způsobovat také fakt, že vápenné nátěry málo odolávají vlivu oxidů síry a dusíku. Tyto oxidy jsou poměrně značně zastoupeny v městské atmosféře a rozkládají pojivo vápenných nátěrů, kterým je uhličitán vápenatý. Kvůli tomuto mají vápenné nátěry poměrně krátkou životnost.

7.3 Infračervená spektroskopie

Infračervená spektroskopie patří do skupiny nedestruktivních analytických metod, při které není daný vzorek nijak poškozen a poskytuje informace o složení. Lze ji použít pro kvalitativní i kvantitativní analýzu. Hodnoty získané vibrační energií souvisí s pevností chemických vazeb, a také s jejich geometrií nebo molekulovou strukturou. Infračervená spektroskopie se často používá ke studiu organických, ale i anorganických vzorků, jejíž podstatou je interakce molekul tvořících tuto látku s infračerveným zářením. Výhodou této metody je, že se mohou analyzovat vzorky ve všech skupenstvích čili pevném, kapalném i plynném. Fyzikální podstatou metody je fakt, že chemické vazby si můžeme představit jako pružiny, které spojují atomy. Absorpce infračerveného záření vede k změně rychlosti kmitání nebo rotaci. K absorpci však dojde jen tehdy, když pro měřenou molekulu záření vyvolá přípustnou změnu rychlosti vibrace. Nevýhodou IR spektrometrie je, že její pomocí nelze analyzovat kovy, jelikož infračervené záření pouze odráží, tudíž nemají spektrum. Pokud je navíc dané složky v materiálu pod 0,5 % nelze tuto stopovou položku identifikovat, protože má

malou odezvu. Vyhodnocení probíhá nejčastěji pomocí softwaru, kde je k dispozici i knihovna spekter se kterou počítač porovnává výsledné hodnoty analyzovaných vzorků a srovnává výsledné píky. [42]

Pro potřeby této práce byl použit přístroj NicoletTM iS 50 FT-IR (viz Obr. č. 28). Jedná se o přístroj s Fourierovou transformací pro výpočet spektra. Spektrometr umožňuje rychlou analýzu vzorků bez složitých příprav. Přístroj je určen pro polymery, gumy, forenzní analýzu, analýzu léčiv, pro pigmenty barvy, či inkousty, také pro potraviny, a nakonec pro obecné laboratorní zkoumání. Pro měření vzorku je obecně nutné nejprve změřit spektrum pozadí, po vložení vzorku se poté změří jeho spektrum. Přístroj poté odečte obě spektra a vypočítá spektrum vzorku. [9, 42]



Obrázek 28 - Přístroj Nicolet pro infračervenou spektroskopii, foto pořízeno autorem

Přístroj je připojen k počítači disponujícímu programem OMNIC 9, který slouží právě k detekci infračervených spekter změřených pomocí přístroje Nicolet. Po spuštění počítače se také automaticky spustí tento software, který je potřeba nastavit dle toho, jaké vzorky budeme analyzovat. V mém případě se jednalo o sypké (práškové) nebo pevné vzorky, které byly umístěny na měřicí skličko (viz Obr. č. 29) a přitlačeny k němu, aby nevznikaly vzduchové mezery mezi vzorkem a měřícím zařízením, které by zkreslovaly výsledky měření, a přístroj by nemusel zachytit všechna spektra vzorku. Jak již bylo zmíněno, je však nutné nejprve změřit tzv. background, kterým provedeme korekci vlivu okolního prostředí, ale i vlivu samotného přístroje a jeho měřicí aparatury. Velmi důležité pro přesnost měření je i to, jak precizně je očištěno skličko přístroje. Pokud se na něm objeví například prach či zbytek předchozího

vzorku, zkreslí tato nečistota všechna další měření. Proto před každým měřením sklíčko řádně očistíme.



Obrázek 29 - Měřící sklíčko přístroje Nicolet, foto pořízeno autorem

Dále byl na přístroji nastaven počet měření pro jednu analýzu vzorku (v našem případě 25), což zpřesňuje získané výsledky analýzy. Z těchto měření bude vytvořeno výsledné infračervené spektrum, které bude porovnáno s databází materiálů obsaženou v programu OMNIC 9. Porovnání výsledků se provádí na základě tzv. pík, které jsou charakteristické pro každý materiál a jeho vazby. Každé měření bylo provedeno opakovaně na různých místech kvůli zajištění reprezentativnosti.

7.4 Termická analýza

Metoda termické analýzy je založena na sledování hmotnostních a tepelných změn při konstantním zahřívání vzorku. Složení vzorku je pak hodnoceno pomocí fázových přeměn. Nevýhodou této metody je menší přesnost, neboť každá chemická směs má jinou teplotu přeměny a jednotlivé fáze se mohou překrývat. Pokud však máme k dispozici knihovnu termických křivek a změřeny určité standardy, můžeme porovnat tyto křivky s naměřenými na daném vzorku, a to na základě pozorování exotermických či endotermických jevů na křivce, která popisuje změnu teploty v čase, a taktéž změn hmotnosti. Při podrobné analýze lze stanovovat z derivací křivek počáteční teploty a konečné doby přeměny. Dále je možné provádět kvantitativní hodnocení zejména na základě sledování změn hmotnosti, či tepelného

toku. Kromě fázového složení materiálu lze zkoumat touto metodou na specifických zařízeních mechanické, elektrické, magnetické a jiné změny vlastností závislých na teplotě.

Pro potřeby této práce byl použit přístroj SDT Q600 firmy TA Instruments (viz Obr. č. 30), ten umožňuje simultánní kombinaci termogravimetrické analýzy a diferenční skenovací kalorimetrie. Měření lze provádět do teploty 1500 °C. Nárůst teploty je předem nadefinován a probíhá ve vzdušné atmosféře výpalu (oxidační reakce) nebo v atmosféře dusíku (redukční reakce). Přístroj disponuje systémem horizontálních vah, kde na každou z vah je umístěn buď korundový nebo platinový kelímek se zkoušeným vzorkem a referenčním vzorkem. [14, 21]



Obrázek 30 - Přístroj pro termickou analýzu, foto pořízeno autorem

Metoda termické analýzy se nejen u historických materiálů provádí především kvůli fázové analýze silikátových materiálů, jako jsou omítky, malty či štuky. V případě analýzy nátěrů odebraných z konstrukcí jsem se snažila poukázat na přítomnost vápna, a to díky jeho teplotnímu rozkladu. Tyto rozkladné procesy můžeme sledovat zejména na hmotnostní TG křivce, protože jsou doprovázeny změnou hmotnosti, konkrétně hmotnostním úbytkem. Na křivce tepelného toku můžeme pozorovat fázové změny či tepelné rozklady na základě uvolněného nebo spotřebovaného tepla. Uhličitan vápenatý (CaCO_3) vykazuje významný rozklad mezi 700 °C až 900 °C. Rozklad hydroxidu vápenatého Ca(OH)_2 probíhá při teplotách mezi 400 °C až 520 °C. Zlomy v TG křivce znamenají hmotnostní úbytek.

Termická analýza vápenných nátěrů byla provedena ve vzdušné atmosféře, kdy se každou minutu zvedala teplota o 10 °C až do teploty 1000 °C. Do kelímku připravíme

malé množství vzorku, vzorek následně opatrně pinzetou umístíme na horizontální váhu přístroje, kde na druhé váze je umístěn referenční kelímek. Na monitoru počítače připojeného k přístroji SDT Q600 se zobrazí váha vzorku. Následně se spustí analýza, která trvá přibližně 100 minut a poté se přístroj chladí zpět na teplotu okolního prostředí, aby bylo možno s přístrojem manipulovat. Výsledkem měření jsou v základu tři křivky – TG křivka, která zobrazuje závislost úbytku váhy vzorku (v procentech) na stoupající teplotě, DTG křivka, která představuje derivaci TG křivky a umožňuje lepší rozlišení jednotlivých dějů, a DSC křivka, která sleduje změny tepelného toku. [14, 21, 31]

Záznamy jednotlivých měření termické analýzy s příslušnými křivkami jsou uvedeny v kapitole 8. Největší váhové úbytky byly u všech vzorků nátěrů z objektů zaznamenány mezi přibližně 600 °C a 770 °C, což odpovídá rozkladu kalcitu. Menší úbytky pak byly zaznamenány okolo 100 °C, které ukazují na uvolnění vázané vody.

8 Aplikace instrumentálních metod pro stanovení složení nátěrů

Dle metodiky odběru a aplikace instrumentálních metod uvedených v předcházející kapitole zde budou shrnuty výsledky jednotlivých měření pro každý objekt jednotlivě.

8.1 Analýza nátěru z Grossmanovy vily

První metodou pro stanovení složení nátěru byla rentgenová fluorescence jejíž, výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 3, následně pak byla provedena IR spektroskopie (*viz Obr. č. 31*) a termická analýza (*viz Obr. č. 32*). Největší zastoupení v nátěru má na základě první metody právě vápník, který se v nátěru objevoval nejdříve ve formě Ca(OH)_2 , který časem karbonatuje na CaCO_3 .

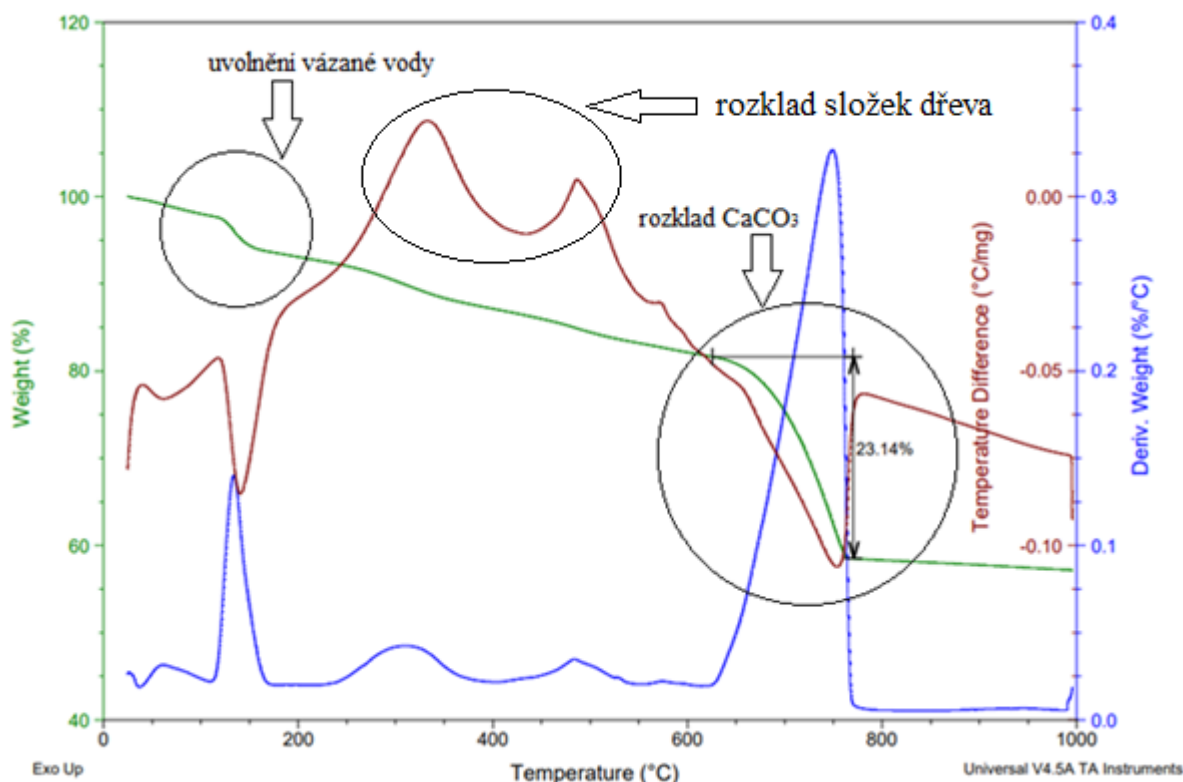
Právě pro výskyt CaCO_3 (kalcitu) jsou typické píky IR analýzy vyskytující se vlnových délkách 1400, 875 a 700 cm^{-1} . Jelikož se v analýze nátěru vyskytuje i síra lze usuzovat, že byl do nátěru přidán i síran hlinito-draselný, který je patrný ve výsledku IR analýzy, jeho vlnová délka je přibližně 1100 cm^{-1} . Shoda s těmito vlnovými délkami je pak detailněji patrná v příloze č. 3. Na výsledném grafu průběhu termické analýzy vidíme dva větší hmotnostní úbytky. První hmotnostní úbytek je zřetelný při teplotě cca 100 °C, kdy se rozkládá chemicky vázaná voda. Rozklad skoro čtvrtiny množství analyzovaného nátěru je pak vidět při teplotách mezi 600 – 750 °C. Při této teplotě probíhal rozklad CaCO_3 . Patrné je pak na DSC křivce hoření menšího podílu dřeva.

Tabulka 3 - Prvkové složení nátěru odebraného v Grossmanově vile

Zastoupení ve vzorku [%]			
Prvek	M1	M2	M3
Ca	36,44	16,33	35,37
Al	1,03	-	0,859
Si	2,75	2,63	1,67
Fe	0,235	0,111	0,249
S	8,1	3,73	5,83
Cl	1,12	0,686	0,997
K	0,215	0,095	0,189
Cr	0,066	-	-
Zn	0,032	0,005	0,027
Mn	0,066	-	0,034
Zr	0,003	-	0,003
Cd	0,002	0,002	0,002
Ti	-	0,029	0,038



Obrázek 31 - Výsledné píky IR analýzy vzorku z Grossmanovy vily



Obrázek 32 - Výsledky termické analýzy vzorku z Grossmanovy vily

8.2 Analýza nátěru z Vlastivědného muzea v Olomouci

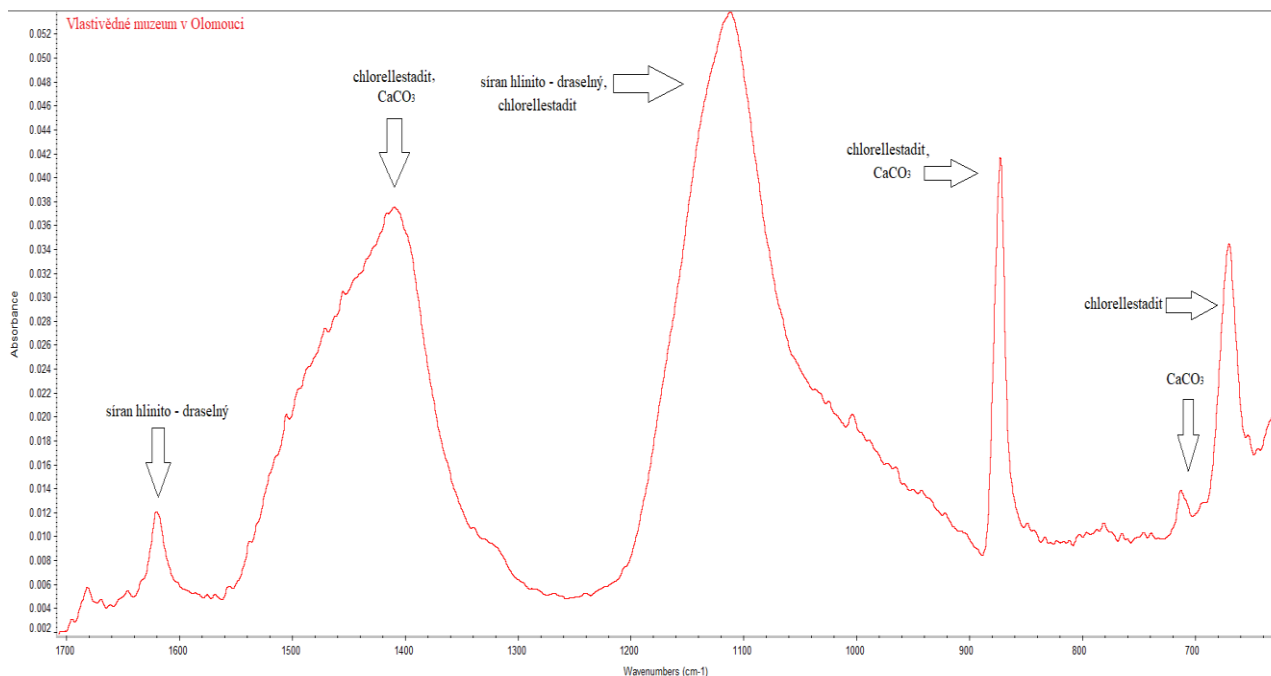
Z výsledků fluorescenční analýzy (viz Tab. č. 4) je zřetelné u nátěru z Vlastivědného muzea v Olomouci nejvyšší zastoupení vápníku, poté síry, jejíž množství je přibližně dvakrát vyšší než v případě nátěru použitého v Grossmanově vile. Přítomnost síry může být opět způsobena přidáním síranu hlinito-draselného, který se používal jako retardér hoření. [16] Dále můžeme zmínit přibližně třikrát větší množství železa než právě v Grossmanově vile. Přítomnost železa by mohly způsobit pigmenty v nátěru, jelikož nátěr je narůžovělý, a právě oxidy železa způsobují zabarvení.

Na výsledcích IR analýzy (viz Obr. č. 33) jsou viditelné píky typické pro CaCO_3 (1400, 875 a 700 cm^{-1}), ve vlnové délce 1100 cm^{-1} se vyskytuje pík, který je typický pro síran hlinito-draselný. Píky zachycené ve vlnových délkách 1400, 1100, 875 a 650 cm^{-1} indikují minerál chlorellestadit, tento minerál patří do skupiny apatitu, v jeho prvkovém složení je zastoupen vápník, fosfor, fluor, chlor a taky je přítomna vazba OH. Tento minerál se vyskytuje v usazených, metamorfovaných i magmatických horninách. [34] Apatit může být v různých barevných provedeních, a to včetně růžového odstínu, proto mohl ovlivnit výslednou barvu

nátěru. V tomto minerálu se také nachází chlor, který je ve fluorescenční analýze též zachycen. Jelikož je apatit fosforečnan, může mít částečně retardační účinky vůči hoření. Porovnání výsledných pík je uvedeno v příloze č. 4.

Tabulka 4 - Prvkové složení nátěru odebraného z Vlastivědného muzea

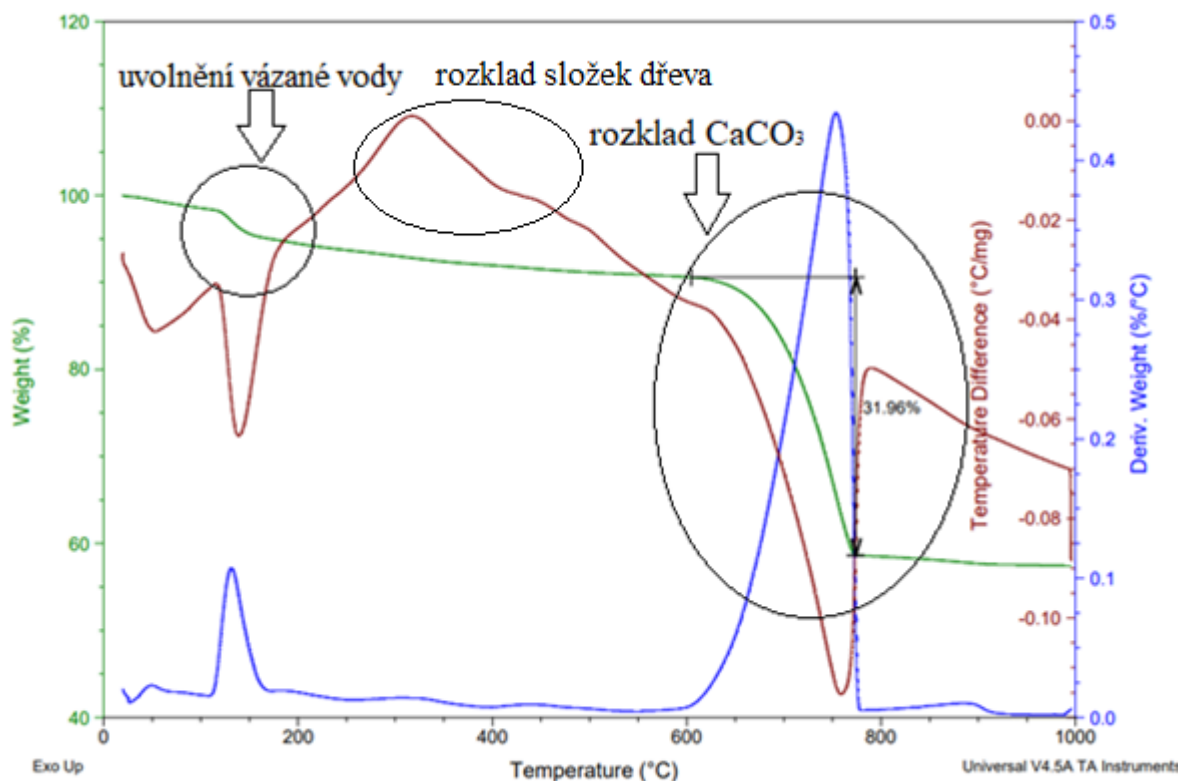
Zastoupení ve vzorku [%]			
Prvek	M1	M2	M3
Ca	35,94	26,23	44,84
Si	1,16	1,28	2,23
Fe	0,609	0,311	1
S	15,96	13,86	9,23
Cl	0,937	0,898	1,1
K	0,501	0,352	0,393
Ti	0,025	-	-
Cd	-	0,002	0,002
Zn	0,025	-	0,016
Cr	0,006	0,004	-
As	0,002	-	0,002
Zr	0,002	-	0,003



Obrázek 33 - Výsledné píky IR analýzy vzorku z Vlastivědného muzea

Na výsledném průběhu termické analýzy (viz Obr. č. 34) jsou opět patrné dva vyšší hmotnostní úbytky, první přibližně při teplotě 100 °C, kdy se rozkládá chemicky vázaná voda,

další, třetinový, úbytek je pak zachycen mezi 600 – 780 °C, kdy se rozkládá CaCO_3 . V porovnání s rozkladem CaCO_3 nátěru z Grossmanovy vily je hmotnostní úbytek asi o 6 % vyšší. Termický rozklad dřeva je opět patrný na DSC křivce.



Obrázek 34 - Výsledky termické analýzy vzorku z Vlastivědného muzea v Olomouci

8.3 Analýza nátěru z Velké Bystřice u Olomouce

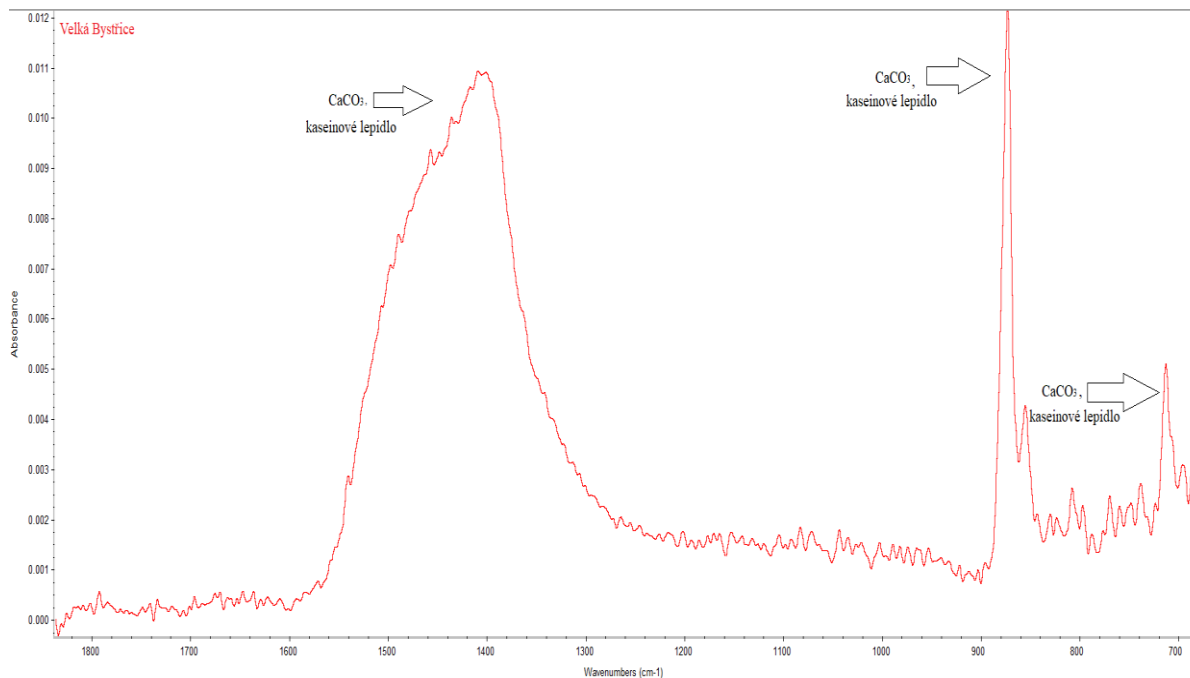
Rentgenová fluorescenční analýza prokázala ve vzorku menší zastoupení vápníku než v předchozích objektech. (viz Tab. č. 5) Výskyt vápníku je třetinový až poloviční oproti vzorkům nátěru z Grossmanovy vily či Vlastivědného muzea. Množství síry obsažené v tomto nátěru je přibližně stejné jako u vzorku z Vlastivědného muzea, avšak asi dvakrát vyšší než u nátěru z Grossmanovy vily.

IR analýzou (viz Obr. č. 35) se nepovedlo určit, odkud síra ve vzorku pochází, jelikož pík, který by ukazoval na přítomnost síranu hlinito-draselného, není v analýze zachycen. Absence píků, které by určovaly obsah síry ve vzorku může být způsobena tím, že vzorek nebyl dostatečně reprezentativní, proto by se tento prvek na IR analýze neobjevil. V IR analýze byly zachyceny píky pro CaCO_3 (1400, 875 a 700 cm^{-1}). Tyto píky se navíc mohou překrývat s píky kaseinového lepidla. Porovnání jednotlivých pík je blíže uvedeno v příloze č. 5.

Bakalářská práce
Historické metody ochrany dřeva ve stavebních konstrukcích

Tabulka 5 - Prvkové složení nátěru odebraného ve Velké Bystřici u Olomouce

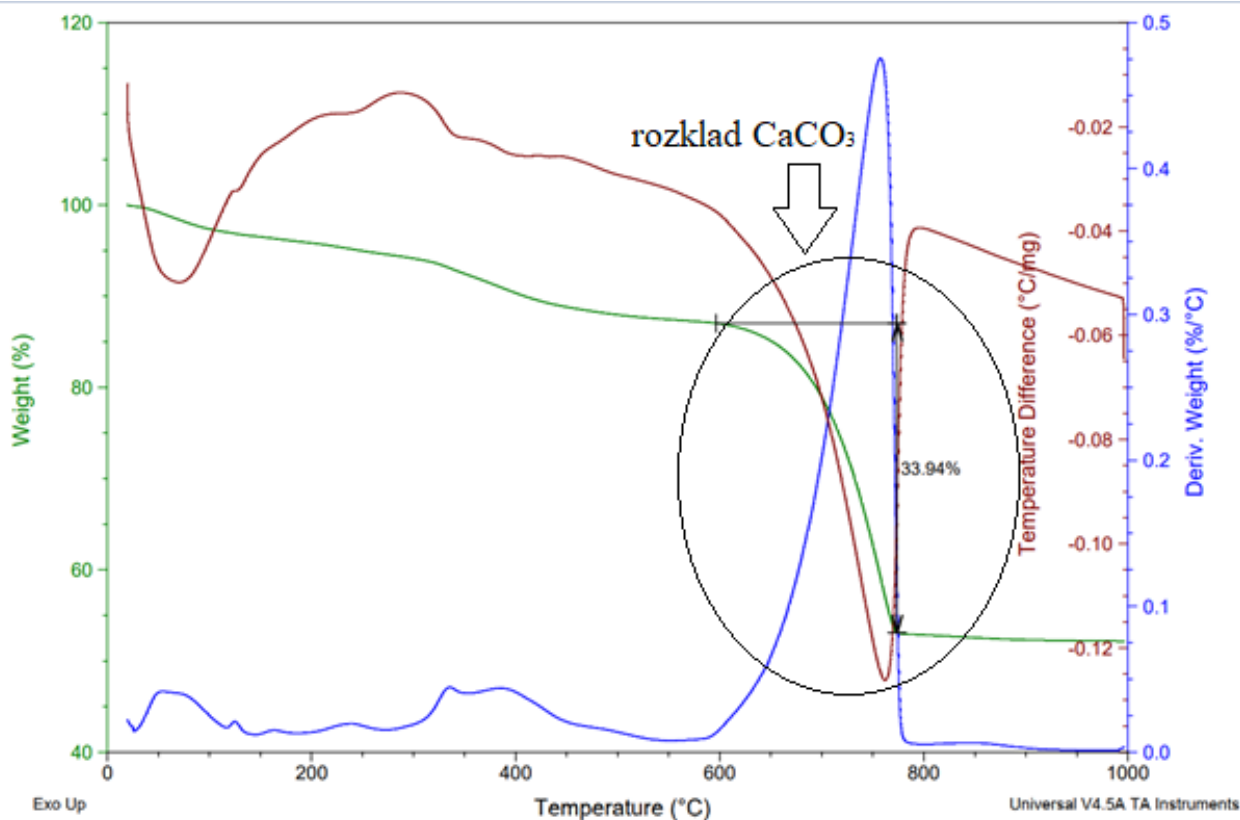
Zastoupení ve vzorku [%]			
Prvek	M1	M2	M3
Ca	9,62	6,55	15,15
Si	0,919	0,434	1,75
Fe	0,039	0,196	0,174
P	0,071	-	-
S	10,58	6,99	15,77
Cl	0,083	0,086	1,22
K	0,068	0,034	0,116
Ti	0,007	0,442	0,055
Cd	0,002	-	0,004
Zn	-	-	0,005
W	-	-	0,018



Obrázek 35 - Výsledné píky IR analýzy vzorku z Velké Bystřice

Ve výsledném průběhu termické analýzy (viz Obr. č. 36) lze pozorovat jeden zásadní hmotnostní úbytek, a to přes 33 % hmotnosti, mezi 600 a 775 °C, kdy se rozkládá právě CaCO_3 .

Rozklad chemicky vázané vody, který probíhá okolo 100 °C, není tak dobře patrný. Nežřetelný je taktéž rozklad dřeva na DSC křivce.



Obrázek 36 - Výsledky termické analýzy vzorku z Velké Bystřice

8.4 Analýza barokního zrcadla

Analýza právě tohoto sbírkového předmětu byla provedena pro zajímavost, jelikož se tato práce zabývá historií metod ošetřování. I sbírkové předměty byly ošetřovány. Fluorescenční analýzou jsme se snažili prokázat přítomnost zlata (Au), které bylo v nátěru předpokládáno díky jeho barvě. (viz Tab. č. 6) Touto analýzou však byla vyvrácena přítomnost zlata, a naopak byla prokázána přítomnost mědi (Cu), která způsobuje právě charakteristické zabarvení nátěru. Dále se v rámu tohoto zrcadla nachází vápník, který mohl být plnivem v nátěrových hmotách použitých k ošetření a zdobení tohoto prvku. Stopově se také vyskytuje i síra.

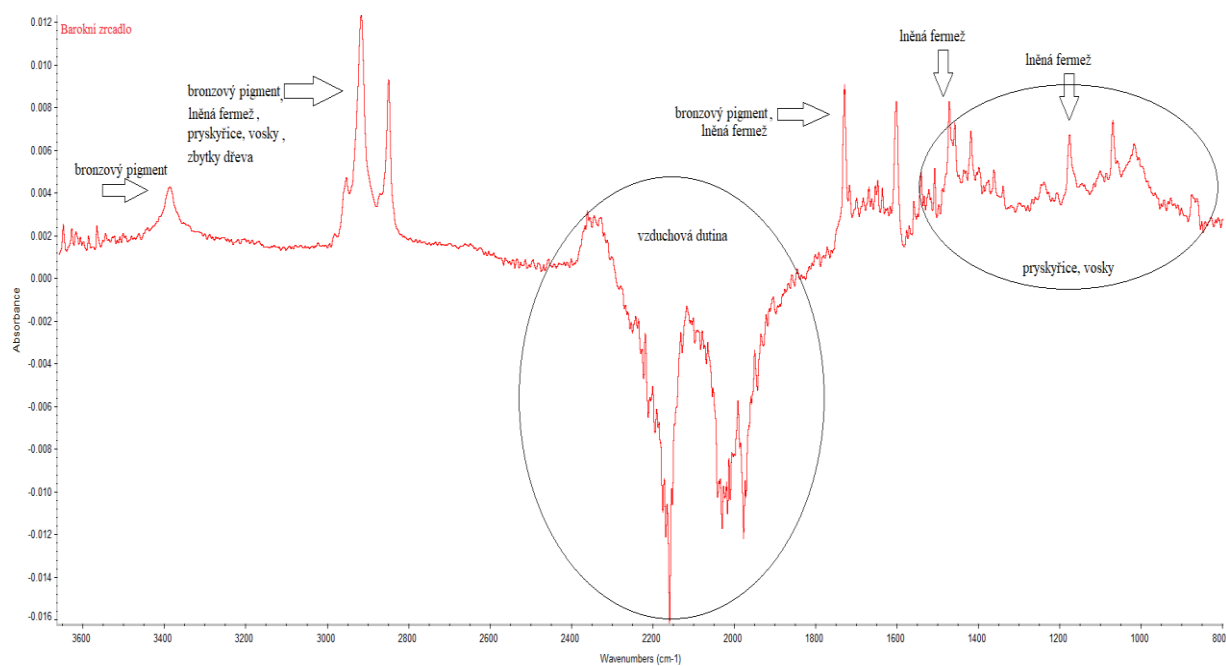
Tabulka 6 - Prvkové složení zdobného nátěru odebraného z barokního zrcadla

Zastoupení ve vzorku [%]			
Prvek	M1	M2	M3
Ca	6,29	6,16	7,02
Si	1,92	0,999	0,532
Fe	0,048	0,08	1,127
Pb	0,325	-	-
S	2,11	1,62	1,04
Cl	0,404	0,212	10,29
K	0,129	0,151	0,012
Ti	0,018	0,015	0,035
Zn	2,46	0,864	0,214
Cu	10,84	3,21	0,761
As	0,049	0,181	0,04
Ba	0,031	0,018	0,022
Au	0,005	-	-

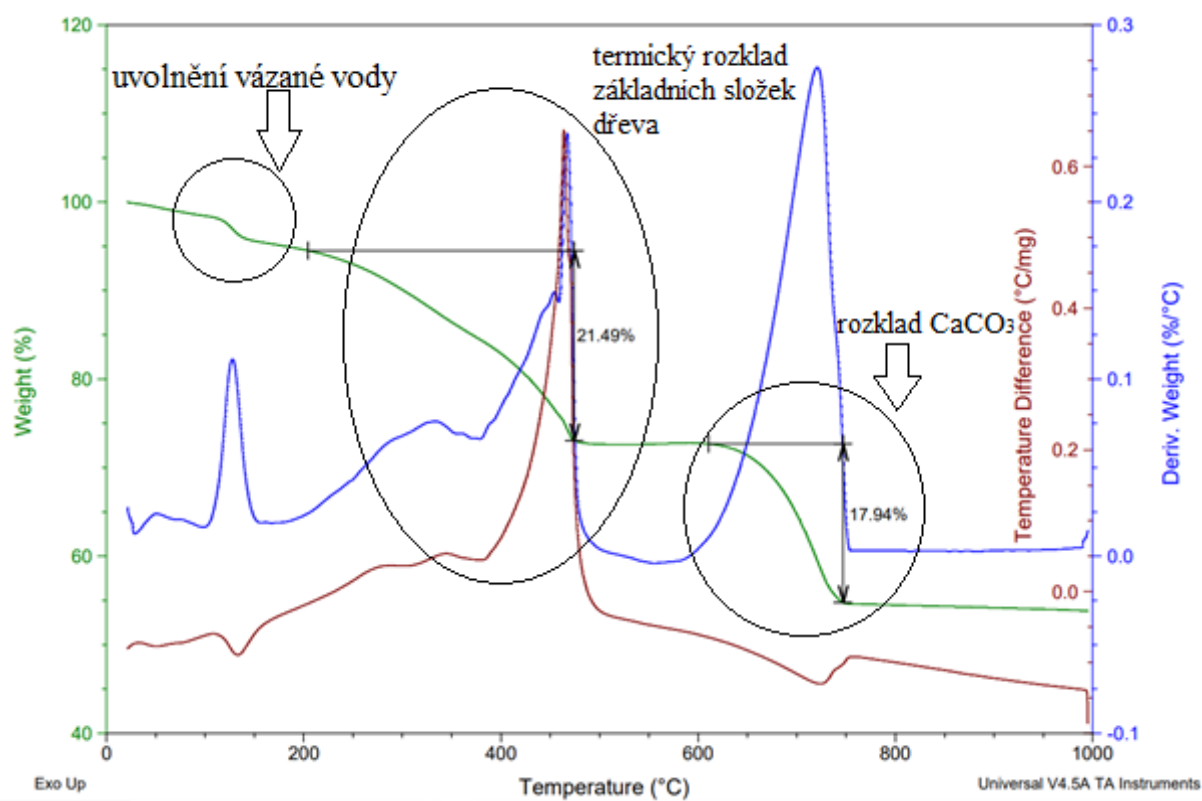
Při prvním měření IR spektroskopie nátěru zrcadla byl nejspíš zkoušený vzorek nerovný a nedoléhal přímo k měřicímu prvku, a také bylo znečištěno sklíčko přístroje, proto byly výsledné píky zkreslené a nezobrazovaly téměř žádné hodnoty. Muselo být provedeno opravné měření, kdy byl vzorek plochý a přiléhal ke sklíčku, tudíž nebylo měření ovlivněno vzduchovou kapsou vzniklou při měření nerovného vzorku. Na výsledcích IR analýzy (*viz Obr. č. 37*) je patrná vzduchová mezera, v intervalu 2300 a 1800 cm^{-1} stále patrná. Píky v tomto případě poukazují na použití lněné fermeže (či oleje), který se přidával do nátěrů, či se jím dřevo přímo ošetřovalo, dále byly prokázány různé vosky či pryskyřice, které měly za úkol vytvrdit dřevo. Dále lze zachytit píky bronzového pigmentu. Také byly zjištěny zbytky dřeva. Porovnávací křivky jsou uvedeny v příloze č. 6. Přítomnost vápníku nebyla v IR analýze prokázána, ovšem vzorek nemusel být dostatečně reprezentativní, aby danou vlnovou délku přístroj zachytil, nebo mohl být obsažen jen ve stopovém množství.

Průběh termické analýzy ukazuje (*viz Obr. č. 38*) tři větší hmotnostní úbytky. Při teplotě 100 °C se rozkládá chemicky vázaná voda, od 200 do 475 °C se rozkládají základní složky dřeva – nejprve hemicelulóza, poté celulóza a nakonec lignin, celkem cca 21 % vzorku. Poslední hmotnostní úbytek je zaznamenán mezi 600 – 750 °C, kdy se rozkládá CaCO_3 , a to cca 18 % vzorku.

Bakalářská práce
Historické metody ochrany dřeva ve stavebních konstrukcích



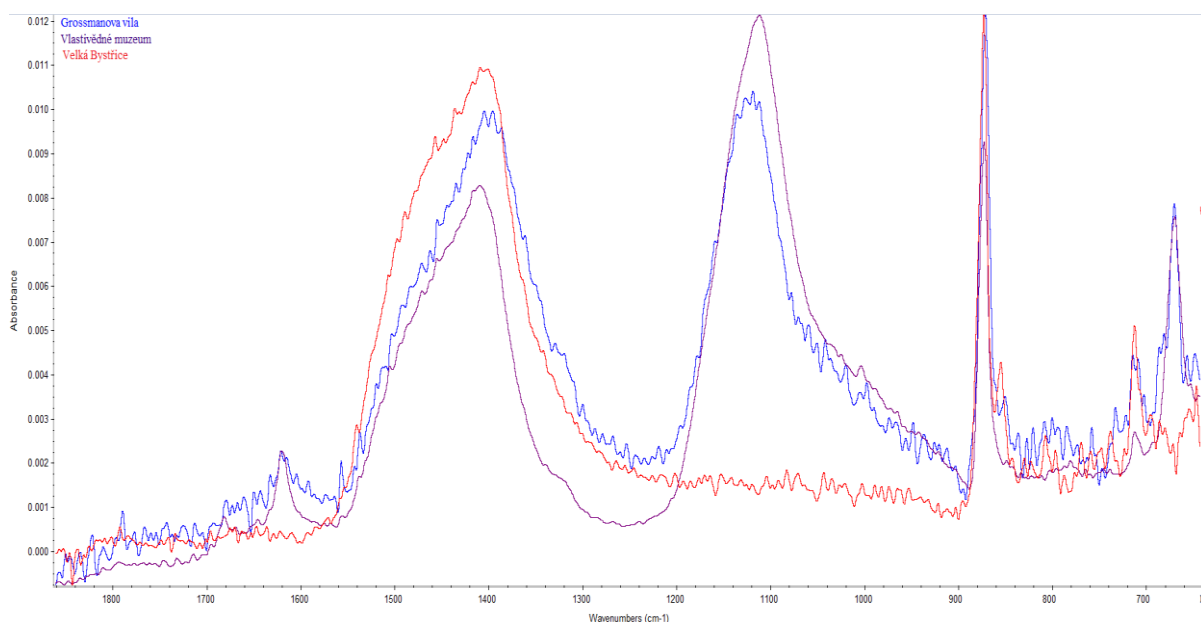
Obrázek 37 - Výsledné píky IR analýzy barokního zrcadla



Obrázek 38 - Výsledky termické analýzy barokního zrcadla

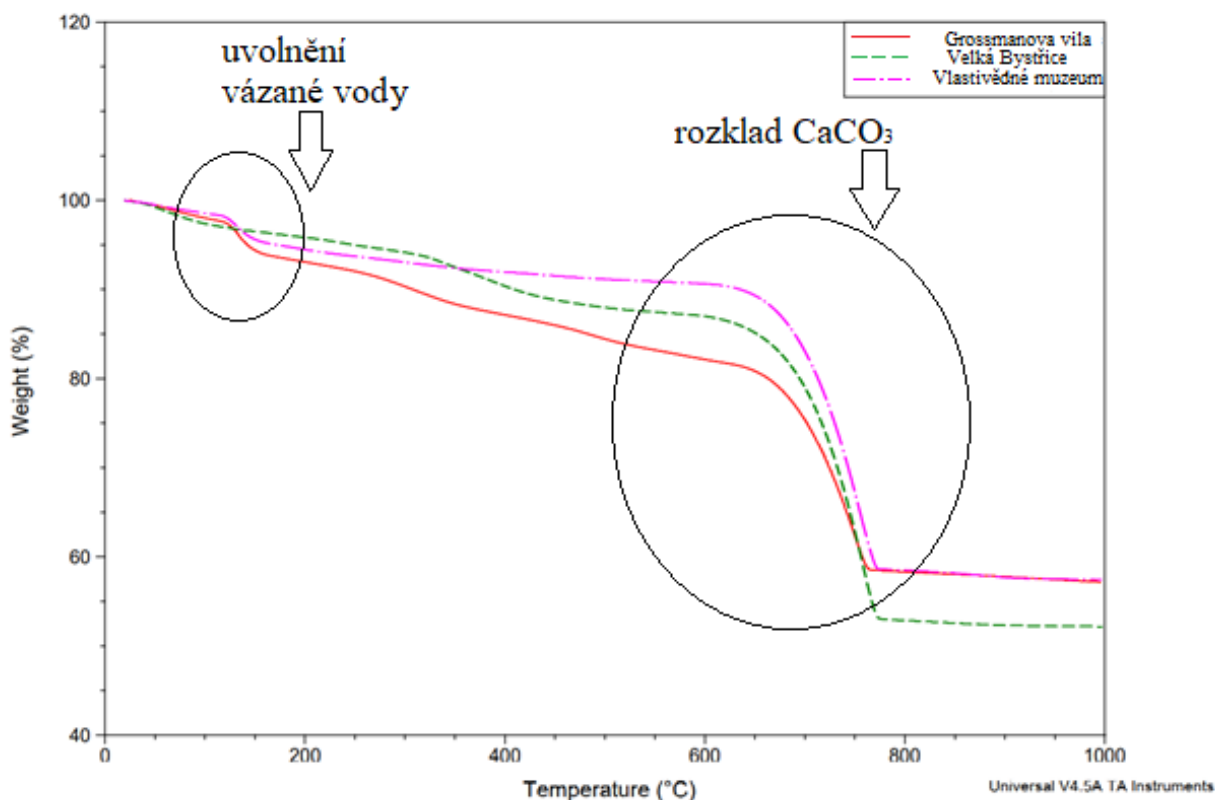
8.5 Porovnání analýz nátěrů

Na výsledných vlnových délkách, které jsou výstupem IR analýzy, můžeme pozorovat, jak jsou si jednotlivé konstrukční nátěry z různých objektů podobné (viz Obr. č. 39). Všechny jsou založeny na bázi uhličitanu vápenatého (CaCO_3) a projevuje se na píkách ve vlnových délkách cca 1100, 875 a 700 cm^{-1} . Dalším společným rysem nátěru z Grossmanovy vily a Vlastivědného muzea je pravděpodobná přítomnost kamence (síranu hlinito-draselného), který byl do nátěrů přidáván jako retardér hoření. Jeho přítomnost můžeme předpokládat i v nátěru odebraném ve Velké Bystřici, jelikož fluorescenční analýza poukazuje na přítomnost síry ve vzorku. Nicméně pro přesnější identifikaci nátěrů by bylo vhodné provést další analýzy.



Obrázek 39 - Porovnání IR analýzy jednotlivých konstrukčních nátěrů

Výsledné průběhy termické analýzy lze u těchto nátěrů taky dobře porovnat, přičemž u všech vzorků jsou patrné téměř totožné hmotnostní úbytky (viz Obr. č. 40). Platí, že se vždy objevuje nad cca 100 °C rozklad chemicky vázané vody, při 600 – 775 °C poté dochází k rozkladu CaCO_3 .



Obrázek 40 - Porovnání výsledků termické analýzy konstrukčních nátěrů

9 Aplikace vybrané metody ošetřování dřeva nátěrem

Pro simulaci historické metody ošetřování dřeva byla vybrána metoda ošetření vápenným nátěrem. Pro tuto simulaci byly vyrobeny vzorky z celkem třech druhů dřeva, které byly změřeny, zváženy a následně ponechány jako referenční nebo ošetřeny připraveným nátěrem. Před ošetřením byly ponechány všechny vzorky v laboratorním prostředí, dokud nedosáhly ustálené hmotnosti. Mechanické charakteristiky byly podrobeny zkouškám pevnosti v tlaku ve směru vláken a také rázové houževnatosti Charpyho kladivem. Vliv nátěru na dřevo byl zkoumán z krátkodobého hlediska přibližně po 14 dnech od aplikace a z dlouhodobého hlediska přibližně po 2 měsících od aplikace. Během měření byla taktéž zjišťována vlhkost dřeva gravimetrickou metodou a příjmy nátěru.

9.1 Příprava vzorků dřeva ke zkoušení

Pro potřeby této práce byly použity tělesa ze tří druhů dřeva, konkrétně se jedná o buk lesní, smrk ztepilý a modřín opadavý. Dle normy ČSN 49 0110 Drevo, Medza pevnosti v tlaku ve směru vláken byla vyrobena tělesa o rozměrech $20 \times 20 \times 30$ mm pro stanovení pevnosti v tlaku ve směru vláken a objemové hmotnosti a podle normy ČSN 49 0117 – Drevo, Rázová houževnatost v ohybe tělesa o rozměrech $20 \times 20 \times 300$ mm pro stanovení rázové houževnatosti s využitím Charpyho kladiva. Každý vzorek byl změřen pomocí posuvného měřítka s přesností na dvě desetinná místa a zvážen na analytických vahách a přesností na čtyři desetinná místa. Z naměřených rozměrů byla stanovena objemová hmotnost jednotlivých druhů dřevin. Pro ilustraci jsou všechny vzorky zobrazeny na obrázku č. 41. [2 ,3]



Obrázek 41 - Přehled všech vzorků dřeva

Celkový počet vzorků pro stanovení pevnosti v tlaku ve směru vláken je 200, rozdělení je uvedeno v tabulce č. 7. Pro stanovení rázové houževnatosti bylo použito celkem 110 vzorků, rozdělení je uvedeno v tabulce č. 8. Pro stanovení pevnosti v tlaku je dle normy ČSN 49 0110 stanoven minimální počet zkušebních těles na 30 v každé sadě, ovšem pro účely experimentu jej bylo třeba redukovat na 25, s tím že sada pro krátkodobé působení vápenného nátěru na smrku nebyla vůbec použita. Pro stanovení rázové houževnatosti je dle normy ČSN 49 0117 potřeba použít 50 zkušebních těles, to však nebylo kvůli kapacitním důvodům dodrženo a počet vzorků se zmenšil. Vzhledem k experimentálnímu charakteru zkoušení byl počet vzorků považován za dostačující.

Tabulka 7 – Počty vzorků pro stanovení pevnosti v tlaku na různých druzích dřeva

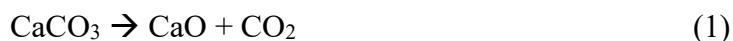
Počet vzorků pro stanovení pevnosti v tlaku			
	Referenční tělesa	Krátkodobé vlivy nátěru	Dlouhodobé vlivy nátěru
Buk lesní	25	25	25
Smrk ztepilý	25	25	25
Modřín opadavý	25	-	25

Tabulka 8 -Počty vzorků pro stanovení rázové houževnatosti na různých druzích dřeva

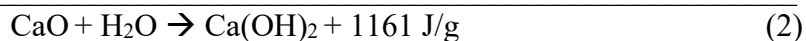
Rázová houževnatost		
	Referenční tělesa	Dlouhodobé vlivy nátěru
Buk lesní	20	20
Smrk ztepilý	15	15
Modřín opadavý	20	20

9.2 Vápenný nátěr

Vápnem ve stavební praxi nazýváme pojiva vyrobená z karbonátů. Vzdušné vápno tuhne a tvrdne pouze na vzduchu. Pro výrobu vzdušného vápna se používá čistý vápenec, což je uhličitán vápenatý CaCO_3 , výpal v minulosti probíhal v trychtýřových nebo kruhových pecích (tzv. milíře), které byly zapuštěny do země a vyzděny cihlami, vytápěny byly dřívím. Později se vyvinuly pece komorové, následně šachtové, které vytlačily málo výkonné pece používané v minulosti. Zmínit můžeme i pece kruhové, které byly rozšířeny po roce 1880. Dnes se vápenec vypaluje v šachtových či rotačních pecích při teplotách od 1000 °C do 1250 °C. Při tomto procesu se vápenec rozkládá na oxid vápenatý CaO a oxid uhličitý dle rovnice č. 1:

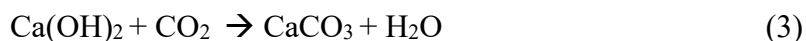


Nátěr použitý k ošetřování zkušebních těles je ve své podstatě hašené vápno ve formě vápenné kaše. V historii se hojně využívalo tzv. mokré hašení. Hašení obecně je proces hydratace páleného vápna s vodou, vzniká hydroxid vápenatý Ca(OH)_2 a uvolňuje se teplo, viz rovnice č. 2:



Mokrý hašení je technologický postup, kdy vrchní vrstva páleného vápna pokropí vodou, aby reakční teplota směsi byla těsně pod bodem varu. Takto vznikne vápenné mléko, které se z hasnice pomocí síta o velikosti ok 3 mm přelije do jámy, a v této usazovací jámě se postupně z mléka odpařuje voda, až do bodu, kdy vznikne bílá až šedá hmota, tzv. vápenná kaše. Vápenná kaše je máslovitá hmota tvořená jemnými částicemi hydroxidu vápenatého, a je suspenzí tuhého hydroxidu vápenatého Ca(OH)_2 v jeho nasyceném roztoku. Kvalita výsledné kaše je také závislá na době, po kterou je uložena v jámě. Nebylo výjimkou, že se vápno takto nechávalo odležet rok, někdy i déle. Tento proces byl používán již od středověku, avšak takto vyrábět hašené vápno mohli jen zkušení řemeslníci, jelikož se jedná o technologicky náročný proces. Například pokud by množství vody použité ke zkrápnění povrchu bylo příliš velké, vápno by se tzv. utopilo, což znamená, že by se zpomalila reakce a směs by se dostatečně neprohřála. Naopak pokud by bylo použito málo vody ke zkrápnění, mohlo by dojít k tzv. spálení vápna. Vápno je sice takto rychle připravené, ale je velmi nekvalitní. Pokud je použito vznikají na nátěru trhlinky, puchýře nebo se zcela oddělí od podkladu (to platí zejména u vápenných omítek). [11, 32]

Tvrdnutí vápenných nátěrů probíhá jako vytvrzující reakce mezi hydroxidem vápenatým a vzdušným oxidem uhličitým, což je chemická přeměna pojiva, tzv. karbonatace, při které vznikne uhličitán vápenatý, viz rovnice č. 3:



9.2.1 Aplikace vápenného nátěru na zkušební vzorky

Hašené vápno ve formě máslové hmoty a odležené několik desetiletí bylo před aplikací mírně rozředěno vodou pro jednodušší manipulaci, a také aby se netvořily na povrchu dřeva hrudky. Nátěr byl na povrch dřeva aplikován pomocí tenkého štětce tak, aby byly všechny plochy vzorku pokryty tenkou vrstvou. Ihned po natření byly zřetelné rozdíly mezi jednotlivými druhy dřeva. I přilnavost nátěru k povrchu byla u každého druhu odlišná. Například na modřínovém dřevu ihned po natření byly vidět mapky pryskyřic, které dřevo vypouští, povrch tedy nebyl jednolitě bílý, vyskytovala se místa s tmavším zabarvením právě díky pryskyřicím (viz. Obr. č. 42). Po zaschnutí nátěru přestaly být tyto mapy viditelné, avšak nátěr byl mírně zabarven do žluta (viz Obr. č. 43). Ihned po natření byly vzorky zváženy s přesností na tři desetinná místa a ponechány v laboratorním prostředí po stanovenou dobu. U zkoumání krátkodobých vlivů vápna na povrch dřeva byla doba stanovena na 14 dnů, pro dlouhodobé

vlivy na 2 měsíce. Před každou zkouškou byly vzorky znovu zváženy, čímž můžeme určit příjem jak samotného nátěru, tak množství vody z nátěru odpařené.



Obrázek 42 - Zkušební tělesa z modřínu ihned po aplikaci vápenného nátěru



Obrázek 43 - Zkušební tělesa z modřínu po 2 měsících působení nátěru

Manipulace se zkušebními tělesy byla značně komplikovaná, jelikož vápno je silná zásada, tudíž je nutno pracovat v osobních ochranných pracovních pomůckách. Přílnavost vápna k povrchu dřeva byla nízká, tudíž nátěr opadával například při přenášení či vážení. Výsledky tedy mohou být značně zkreslené. Příčinu můžeme najít v opracování povrchu dřeva, díky němuž na hladké ploše nátěr příliš nedržel.

9.2.2 Stanovení příjmů vápenného nátěru

Příjem nátěru se vztahuje k ploše, která byla ošetřena. Hodnotu příjmu nátěru vztaženou k ploše můžeme s výhodou využít v případě potřeby ošetřit část například historické

konstrukce, díky níž bude předem známa předpokládaná spotřeba nátěru. Výsledné příjmy jsou uvedeny v tabulce č. 9, a také v grafu (viz Obr. č. 44). Výpočet byl proveden dle vzorce č. 4:

$$p_x = \frac{m_x - m_n}{A} \text{ [kg/m}^2\text{]} \quad (4)$$

kde: m_x ... hmotnost vzorku po aplikaci nátěru [kg];

m_n ... hmotnost vzorku před aplikací nátěru [kg];

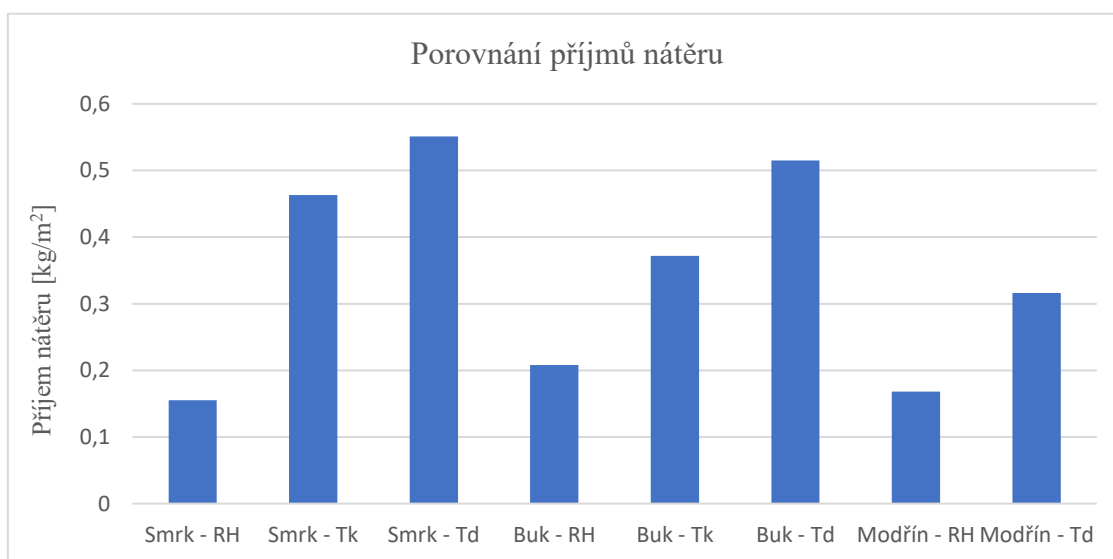
A ... plocha celého vzorku [m²].

Tabulka 9 - Stanovení příjmu nátěru na zkušebních tělesech

Druh dřeva	Druh zkoušky	Druh vzorku	Příjem nátěru [kg/m ²]
Buk lesní	Pevnost v tlaku	Krátkodobé působení	0,37
		Dlouhodobé působení	0,51
	Rázová houževnatost	Dlouhodobé působení	0,21
Smrk ztepilý	Pevnost v tlaku	Krátkodobé působení	0,46
		Dlouhodobé působení	0,55
	Rázová houževnatost	Dlouhodobé působení	0,15
Modřín opadavý	Pevnost v tlaku	Krátkodobé působení	-
		Dlouhodobé působení	0,32
	Rázová houževnatost	Dlouhodobé působení	0,17

Pozn.: V tabulce jsou uvedeny průměrné příjmy vápenného nátěru stanovené jako průměr ze všech vzorků v dané sadě.

Z výsledků uvedených v tabulce č. 9 lze usuzovat, že příjmy nátěrů souvisí s druhem dřeva. Průměrné příjmy nátěru na jednotlivých druzích dřeva mají také souvislost v objemovou hmotností vzorků (viz kapitola 9.3).



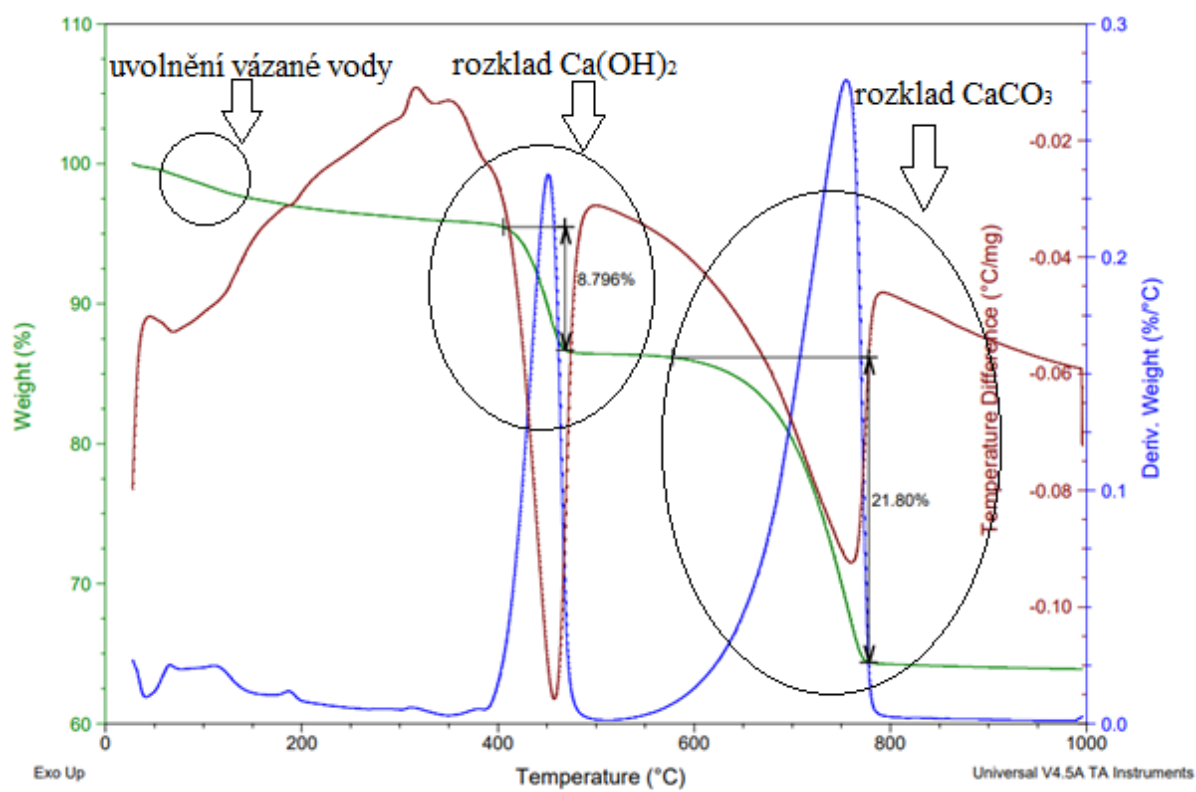
Obrázek 44 - Graf porovnání příjmu nátěru u jednotlivých druhů dřeva

Pozn.: Zkratkou RH jsou označena tělesa pro rázovou houževnatost, zkratkou Tk tělesa pro stanovení pevnosti v tlaku po krátkodobém působení nátěru a zkratkou Td tělesa pro stanovení pevnosti v tlaku po dlouhodobém působení nátěru.

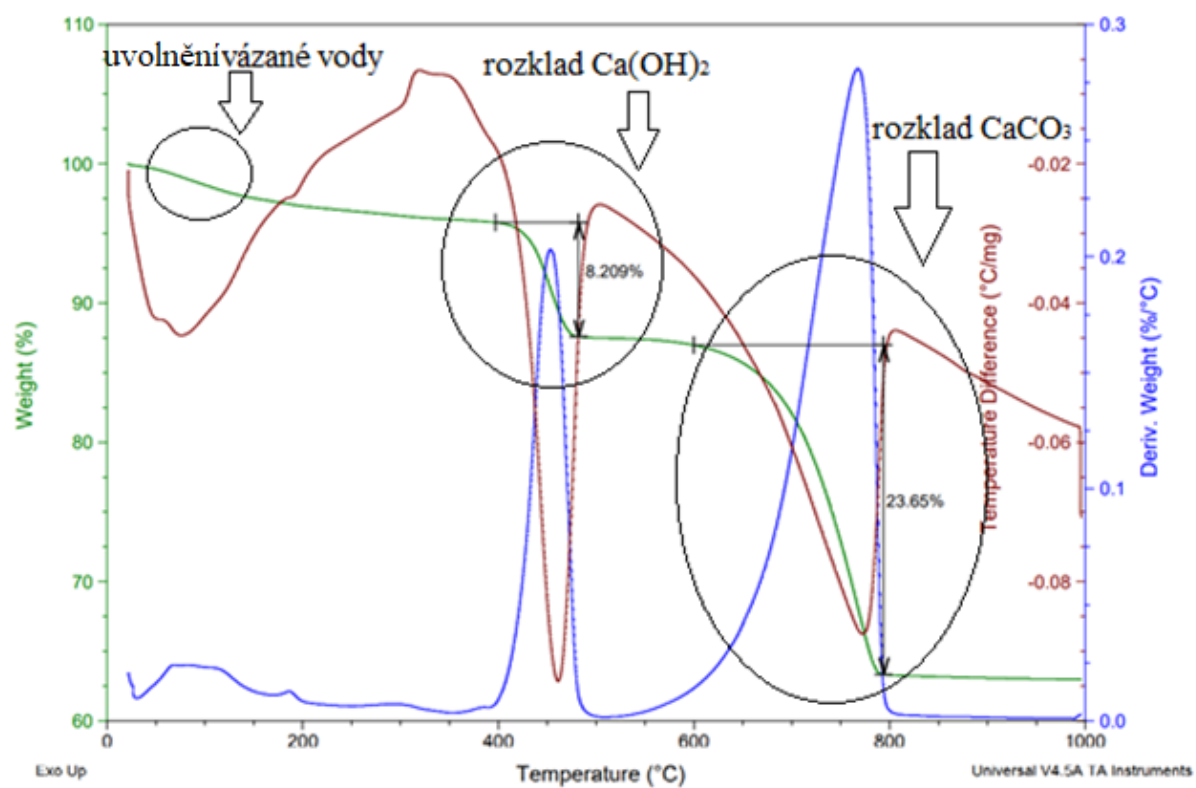
Nejvyšší příjmy jsou zaznamenány u vzorků ze smrku ztepilého, nejnižší jsou naopak u vzorků modřínu opadavého, jelikož ten má vysoké množství pryskyřic obsažených ve své struktuře. (viz Obr. č. 44) Příjmy u vzorků pro stanovení rázové houževnatosti jsou zhruba třetinové než u vzorků, které byly použity pro stanovení pevnosti v tlaku. Je to způsobeno vyšším podílem příčných řezů u menších vzorků.

9.2.3 Analýza vápenného nátěru

Vytvořené nátěry byly taktéž před každou mechanickou zkouškou podrobeny termické analýze. V průběhu obou termických analýz jsou patrné dva významné hmotnostní úbytky a jeden méně výrazný. Při 100 °C se rozkládá chemicky vázaná voda, to však není příliš patrné. Další hmotnostní úbytek byl zaznamenán mezi 375 a 475 °C, kdy se rozkládá hydroxid vápenatý. Poslední hmotnostní úbytek je mezi 600 a 775 °C, kdy se rozkládá uhličitan vápenatý CaCO_3 . Výsledný průběh termické analýzy je uveden na obrázku č. 45 pro 14denní stáří nátěru a obrázku č. 46 pro stáří nátěru dva měsíce (60 dní).

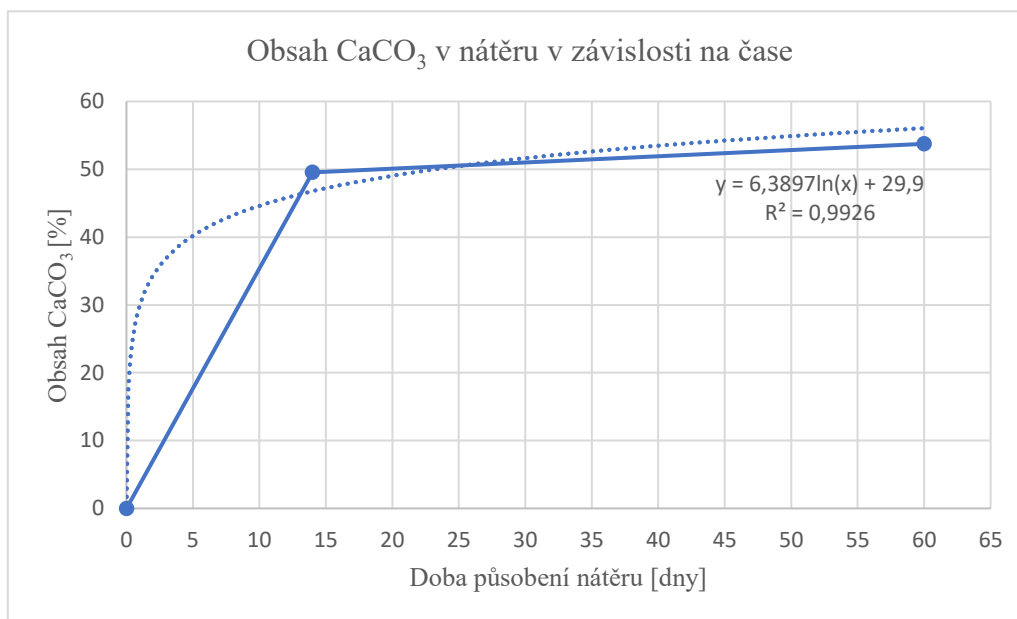


Obrázek 45 - Výsledky termické analýzy nátěru působícího 14 dní



Obrázek 46 - Výsledky termické analýzy nátěru působícího 2 měsíce

Na základě těchto dat, je pak možné zkonstruovat závislost obsahu karbonátu na stáří nátěru (viz Obr. č. 47). K tomuto účelu nám slouží přepočty založené na znalosti složení chemické látky a molární hmotnosti jednotlivých prvků. Koeficient determinance (R^2) udává, že tato závislost je relevantní. Nejvyšší nárůst je zaznamenán do 14 dnů od aplikace nátěru, po 2 měsících působení se výsledný obsah příliš nelišil, zaznamenán byl pouze nepatrný nárůst. Časem se však rozloží veškerý hydroxid vápenatý a zůstane pouze uhličitan vápenatý, jak je patrné na analýzách vzorků odebraných z historických konstrukcí.



Obrázek 47 - Graf závislosti množství obsahu uhličitanu vápenatého v nátěru na čase

9.3 Stanovení objemové hmotnosti dřeva

Objemová hmotnost dřeva byla stanovena na zkušebních tělesech pro každou sadu vzorků připravených pro stanovení pevnosti v tlaku a pro rázovou houževnatost. Výpočet probíhal dle pokynů uvedených v normě ČSN 49 0108 dle vzorce č. 5 [1]:

$$\rho = \frac{m}{a \times b \times c} = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (5)$$

kde: m ... hmotnost zkušebního tělesa [kg];

$a \times b \times c$... rozměry zkušebního tělesa [m];

V ... objem zkušebního vzorku [m].

Výsledné hodnoty objemových hmotností všech zkušebních těles před nanesením vrstvy vápenného nátěru jsou uvedeny v tabulce č. 10.

Tabulka 10 - Přehled objemových hmotností jednotlivých druhů dřeva

Druh dřeva	Druh vzorku	$\rho_{1,T}$ [kg/m ³]	$\rho_{1,RH}$ [kg/m ³]
Buk lesní	Referenční	710	660
	Krátkodobé působení	730	-
	Dlouhodobé působení	780	710
Smrk ztepilý	Referenční	500	500
	Krátkodobé působení	580	-
	Dlouhodobé působení	580	530
Modřín opadavý	Referenční	660	630
	Krátkodobé působení	-	-
	Dlouhodobé působení	770	630

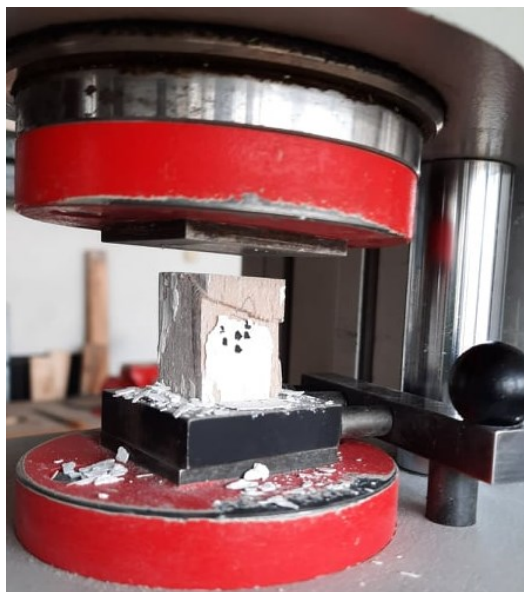
Pozn.: V tabulce je uveden průměr objemových hmotností u daných druhů dřeva těsně před provedením zkoušek stanovený ze všech vzorků v dané sadě. Symbolem $\rho_{1,T}$ jsou označeny hodnoty objemové hmotnosti při zkoušení pevnosti v tlaku. Symbolem $\rho_{1,RH}$ jsou označeny hodnoty objemové hmotnosti při zkoušce rázové houževnatosti.

9.4 Stanovení pevnosti v tlaku ve směru vláken

Pevnost v tlaku ve směru vláken byla zkoušena dle normy ČSN 49 0110 – Dřevo, Medza pevnosti v tlaku v směru vláken, na vzorcích různých dřevin – referenčních a s vápenným ošetřením, které byly umístěny v laboratorním prostředí při teplotě 20 ± 1 °C a relativní vlhkosti 50 ± 5 %. Zkouška pevnosti v tlaku ve směru vláken byla provedena na vzorcích $20 \times 20 \times 30$ mm s konstantní rychlostí zatěžování v lisu, přičemž k porušení musí vždy dojít v čase (60 ± 30) s. Rychlost zatěžování pro jednotlivé druhy dřeva je uvedena v tabulce č. 11. Předmětem zkoumání je tedy největší síla, která působí na plochu vzorku a způsobí jeho destrukci, přičemž vzorky jsou umístěny do lisu tak, aby byly zatěžovány ve směru vláken na radiálním řezu. (viz. Obr. č. 48) Tato síla (F_{\max}) se udává s přesností na 0,01 kN.

Tabulka 11 - Rychlost zatěžování jednotlivých druhů dřeva.

Rychlost zatěžování [kN/s]	
Buk lesní	0,3
Smrk ztepilý	0,2
Modřín opadavý	0,35



Obrázek 48 - Umístění vzorku do lisu, foto pořízeno autorem

Zkoušce bylo podrobena celkem 200 malých, bezvadých těles. Referenční tělesa (bez nátěru) byla zkoušena z důvodu porovnání, zda vápenný nátěr bude mít vliv na tuto mechanickou charakteristiku dřeva. Referenční vzorky byly podrobeny zkoušce pevnosti v tlaku ihned po jejich změření i zvážení. Vzorky ošetřené vápenným nátěrem byly zkoušeny po 14 dnech pro odhad krátkodobého vlivu vápenného nátěru na materiál a další sada vzorků byla zkoušena po 2 měsících pro posouzení dlouhodobého vlivu vápenného nátěru na dřevo. Z každé testované sady byla tři tělesa umístěna do sušárny a ponechána zde do ustálení hmotnosti (přibližně 7 dnů), aby bylo možno gravimetricky stanovit vlhkosti vzorků v době zkoušky. Toto zkoušení probíhalo na základě normy ČSN EN 13183-1 a teplotou sušení 103 ± 2 °C [2, 4]

Pevnost v tlaku se následně přepočte dle vzorce č. 6:

$$\sigma_w = \frac{F_{max}}{a \times b} [MPa] \quad (6)$$

kde: F_{max} ... maximální síla při porušení vzorku [N];

$a \times b$... rozměry tělesa (šířka, výška) [mm].

Výsledné pevnosti v tlaku ve směru vláken σ_w jsou uvedeny v tabulce č. 12. Tyto hodnoty byly použity k přepočtu pevnosti v tlaku ve směru vláken při 12% vlhkosti σ_{12} .

Do výpočetního vzorce č. 7 byl započítán opravný koeficient $\alpha = 0,04$, který je stejný pro všechny dřeviny. [2]

$$\sigma_{12} = \sigma_w \times [1 + \alpha \times (w - 12)] [MPa] \quad (7)$$

kde: σ_w ... pevnost v tlaku při konkrétní vlhkosti [MPa];

α ... opravný koeficient [-];

w ... konkrétní vlhkosti vzorku [%].

Při zkoušení měly vzorky určitou vlhkost, která se gravimetricky stanoví ze změn hmotnosti před a po vysušení dle vzorce č. 8 [4]:

$$w = \frac{m_m - m_s}{m_s} \times 100 [\%] \quad (8)$$

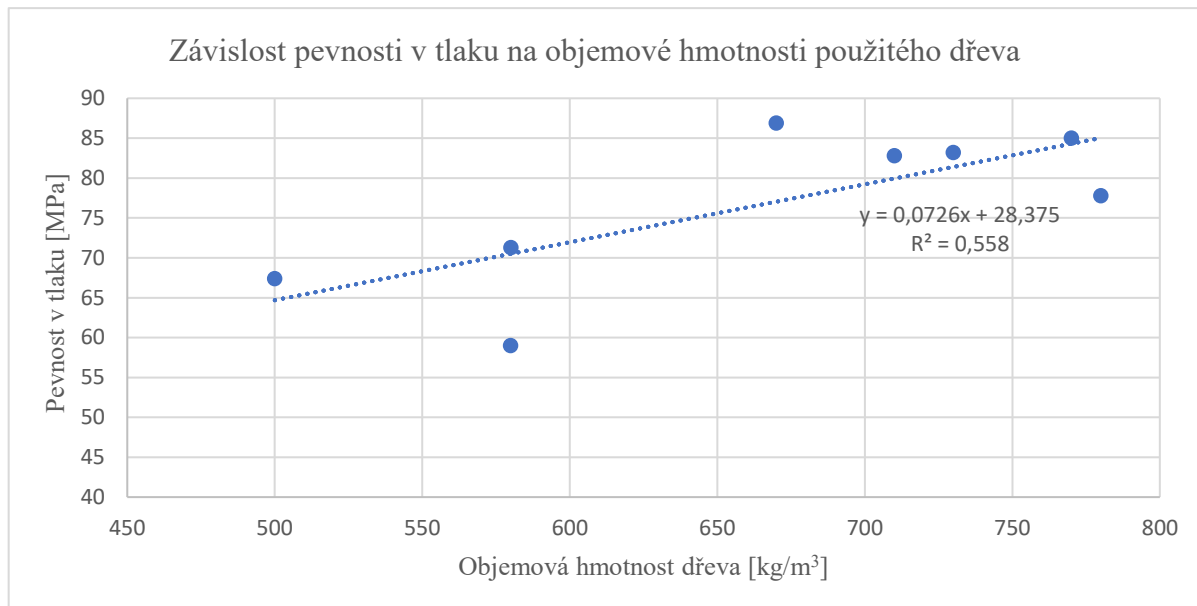
kde: m_m ... hmotnost vzorku před vysušením [g];

m_s ... hmotnost vzorku po vysušení [g].

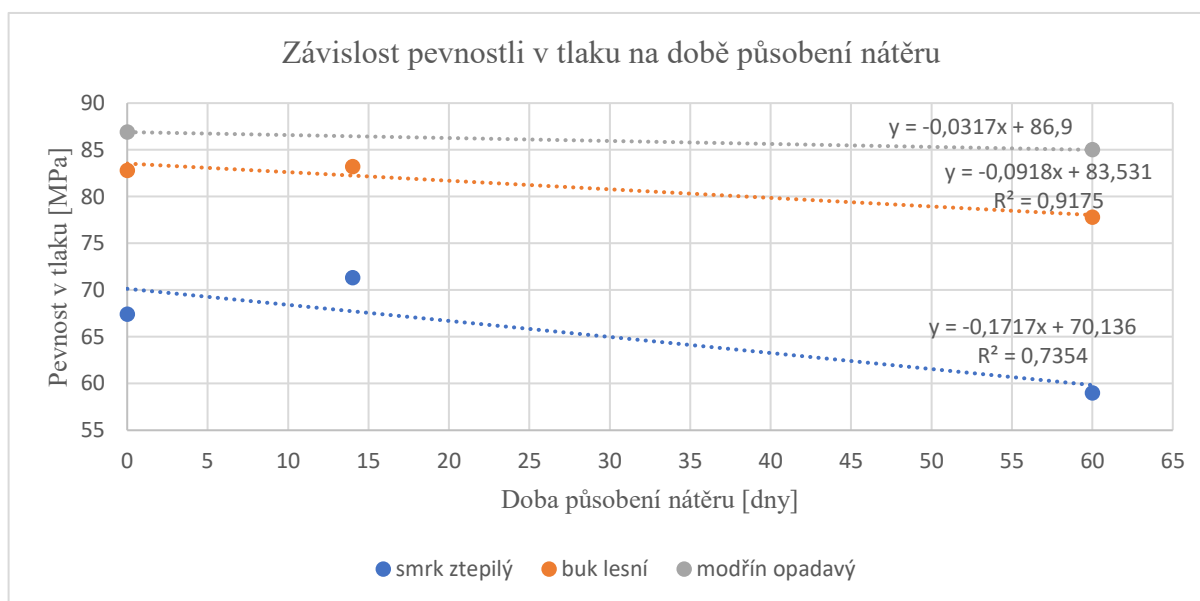
Tabulka 12 - Pevnosti v tlaku a vlhkosti vzorků

Druh dřeva	Druh vzorku	Vlhkost [%]	Pevnost v tlaku při vlhkosti v době zkoušky σ_w	Pevnost v tlaku při 12% vlhkosti σ_{12}
Buk lesní	Referenční	7,5	83	68
	Krátkodobé působení	6,6	83	65
	Dlouhodobé působení	8,6	78	67,5
Smrk ztepilý	Referenční	7,6	67,5	55,5
	Krátkodobé působení	8,2	71,5	60,5
	Dlouhodobé působení	10,6	59	55,5
Modřín opadavý	Referenční	7	87	69,5
	Krátkodobé působení	-	-	-
	Dlouhodobé působení	8,7	85	74

Na obrázku č. 49 je uveden graf zobrazující závislost pevnosti v tlaku na objemové hmotnosti. Dle hodnoty R^2 můžeme tuto závislost potvrdit a konstatovat, že s rostoucí objemovou hmotností dřeva roste pevnost v tlaku ve směru vláken.



Obrázek 49 - Graf závislosti pevnosti v tlaku na objemové hmotnosti



Obrázek 50 - Graf závislosti pevnosti v tlaku na době působení nátěru

Z grafu uvedeného na obrázku č. 50 je zřetelný trend snižování pevnosti v tlaku v závislosti na délce působení vápenného nátěru. U modřínu opadavého není plně vhodné proložit spojnici trendu, protože dvě hodnoty pro statistické zpracování není dostatečné množství a koeficient determinance by byl roven jedné. Je také vhodné uvažovat vliv dalších

charakteristik, například odlišnosti ve struktuře dřeva, proto by bylo vhodné provést další zkoušky o větších počtech vzorků.

V přílohách č. 7 - 9 jsou uvedeny veškeré výsledky pro vzorky smrku ztepilého určené pro stanovení pevnosti v tlaku. Dále pak v přílohách č. 12 – 14 jsou tyto výsledky pro vzorky buku lesního a v přílohách č. 17 a 18 pro vzorky modřínu opadavého.

Vyhodnocení

Hodnoty vlhkostí u vzorků, na které působil nátěr, mohou být značně zkreslené, jelikož nátěr při manipulaci se vzorky samovolně opadával, protože povrch zkušebních těles byl hladký a nátěr na něm špatně ulpíval. I při vkládání a následném vyjímání vzorků ze sušárny nátěr opadával a nebylo tedy možné zvážit vzorky i s tímto opadaným nátěrem. Nátěry byly v minulosti aplikovány na dřevo, které nebylo opracováno strojně, nýbrž ručně. Povrch tedy nebyl hladký, ale byly na něm různé rýhy a nerovnosti, ve kterých nátěr lépe ulpíval. Nicméně je patrný stoupající trend vlhkosti vlivem působení vápenného nátěru v čase, což může ukazovat na to, že se materiál stává mírně hygroskopičtější, protože uhličitany velmi snadno přecházejí na hydrogen uhličitany. Naopak pevnosti v tlaku ve směru vláken mají trend klesající vlivem dlouhodobého působení vápenného nátěru, což naopak ukazuje na známé působení zásadité hydrolýzy, která vede k redukci mechanických charakteristik. V potaz musíme ovšem vzít i různé defekty v rostlém dřevu, které mohou ovlivňovat fyzikální i mechanické charakteristiky.

9.5 Stanovení rázové houževnatosti dřeva

Rázová houževnatost byla stanovována na referenčních tělesech a tělesech, na které vápenné nátěr působil 2 měsíce. Vliv krátkodobého působení vápenného nátěru nebyl zkoumán. Jak již bylo v úvodu zmíněno, norma stanovuje sady vzorků o 50 kusech, z kapacitních důvodů byly počty upraveny na 20 zkušebních těles v sadě v případě buku a modřínu. U smrku bylo použito 15 zkušebních těles v sadě.



Obrázek 51 - Charpyho kladivo pro stanovení rázové houževnatosti

Podstatou metody je stanovení odolnosti dřeva proti dynamickému (rázovému) namáhání, k tomuto bylo využito Charpyho kladivo (viz Obr. č. 51). Charpyho kladivo pracuje na principu přeměny potenciální energie v kinetickou. Při zkoušce zjišťujeme energii potřebnou k porušení (přeražení) tělesa ve vztahu k jeho příčným rozměrům. Tělesa se vkládají do přístroje tak, aby byla kolmo k jejich axiálnímu směru. Vzorek musí být porušen jediným úderem kladiva. Na přístroji se přímo ukáže energie (Q) potřebná k přeražení tělesa s přesností na 0,01 J. Rázová houževnatost se pak přepočítá dle vzorce č. 9. Výsledek se zaokrouhlí na 0,01 J/cm². [3]

$$A_w = \frac{Q}{a \times b} \text{ [J/cm}^2\text{]} \quad (9)$$

kde: Q ... práce potřebná k porušení tělesa [J];

a, b ... příčné rozměry tělesa [cm].

V tabulce č. 13 jsou uvedeny výsledné hodnoty rázové houževnatosti. Tyto hodnoty byly použity k přepočtu na rázovou houževnatost při 12% vlhkosti. Vlhkost vzorků stanovíme gravimetricky dle vzorce č. 8, stejně jako tomu bylo u stanovení vlhkosti při zkoušce pevnosti v tlaku. Do vzorce č. 10 pro přepočet rázové houževnatosti při 12% vlhkosti byl použit opravný

koeficient $\alpha = 0,02$, který je stejný pro všechny dřeviny. Výsledná rázová houževnatost se zaokrouhlí s přesností $0,01 \text{ J/cm}^2$. [3]

$$A_{12} = A_w \times (1 + \alpha \times (w - 12) [\text{J/cm}^2]) \quad (10)$$

kde: A_w ... rázová houževnatost při určité vlhkosti $[\text{J/cm}^2]$;

α ... opravný koeficient vlhkosti $0,02 [-]$;

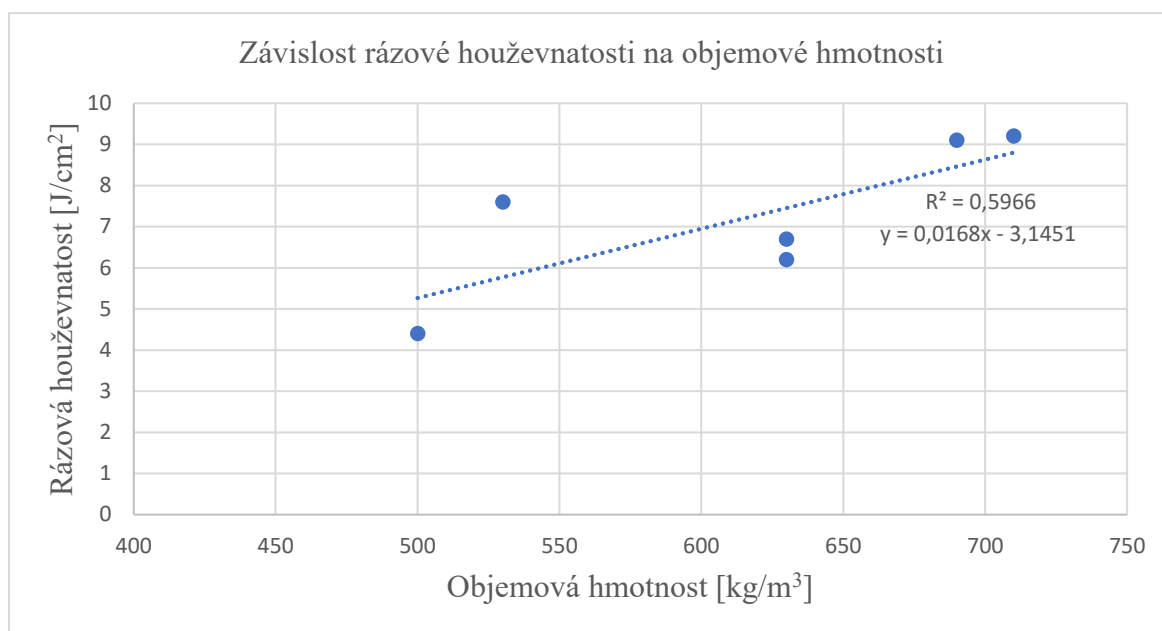
w ... vlhkost tělesa v době zkoušky $[\%]$.

V přílohách č. 10 a 11 jsou uvedeny veškeré výsledky u vzorků smrku ztepilého určených pro stanovení rázové houževnatosti. V přílohách č. 15 a 16 pak pro buk lesní a v přílohách č. 19 a 20 pro modřín opadavý.

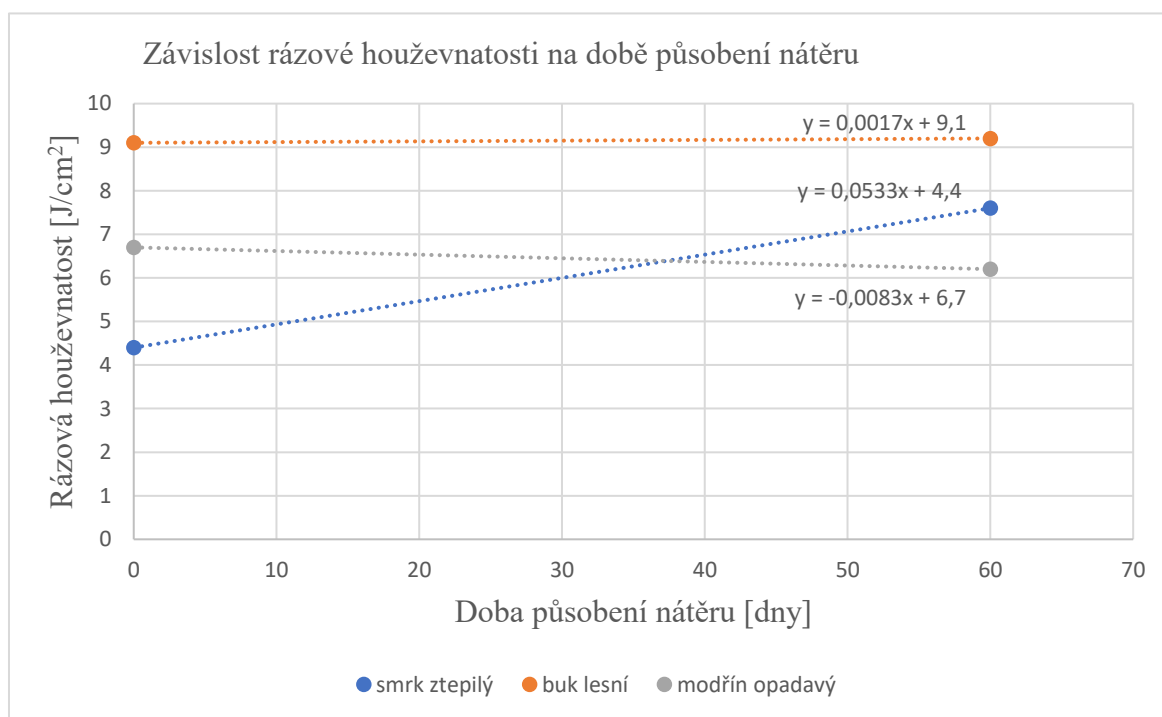
Tabulka 13 - Rázová houževnatost

Druh dřeva	Druh vzorku	Vlhkost [%]	Rázová houževnatost při vlhkosti v době zkoušky A_w $[\text{J/cm}^2]$	Rázová houževnatost při 12% vlhkosti A_{12} $[\text{J/cm}^2]$
Buk lesní	Referenční	7,3	9,05	8,21
	Dlouhodobé působení	7,6	9,23	8,43
Smrk ztepilý	Referenční	9,9	4,35	4,16
	Dlouhodobé působení	7,4	7,63	6,93
Modřín opadavý	Referenční	8,2	6,67	6,16
	Dlouhodobé působení	7,3	6,20	5,61

Pro interpretaci výsledků je vhodné opět graficky vyjádřit závislost rázové houževnatosti na objemové hmotnosti (viz Obr. č. 52) a také závislost rázové houževnatosti na délce působení vápenného nátěru, a to pro každou testovanou dřevinu (viz Obr. č. 53).



Obrázek 52 - Graf závislosti rázové houževnatosti na objemové hmotnosti



Obrázek 53 - Graf závislosti rázové houževnatosti na době působení nátěru

Vyhodnocení

Z grafického znázornění výsledků je patrné, že s rostoucí objemovou hmotností roste i rázová houževnatost dřeva. Při posouzení rázové houževnatosti na délce působení vápenného nátěru je možné sledovat, že účinek se liší v závislosti na druhu použité dřeviny. U smrku je patrné, že po nanesení nátěru se výrazně zvýší rázová houževnatost a zároveň naroste i křehkost materiálu. Mírný nárůst lze pozorovat i u bukového dřeva. U modřínu však dochází k opačnému efektu, kdy rázová houževnatost naopak po ošetření klesne. Příčinou může být i reakce s aromatickými složkami materiálu. Pro ověření výsledků a lepší popsání vlivu zásadité hydrolýzy by však bylo vhodné provést testy na větším souboru vzorků.

Zároveň by bylo vhodné označit na ošetřených vzorcích, zda je plocha vzorku vedena jako radiální či tangenciální řez, jelikož právě po aplikaci neprůhledného nátěru toto již není zřetelné a může tento fakt značně ovlivnit výsledky práce, která je potřebná k přeražení vzorku. Pro lepší interpretaci je nutné provádět zkoušku pouze na radiálním, či pouze na tangenciálním řezu.

10 Závěr

Práce byla zaměřena na metody ošetřování dřeva ve stavebních konstrukcích. V teoretické části byla představena nutná literární rešerše, která poskytla úvod do problematiky vlastností dřeva a jeho trvanlivosti, která je závislá na mnoha faktorech. Představeny byly mnohé historické metody, které naši předci využívali k ochraně svých obydlí, ve kterých dřevěné prvky hrají významnou roli už tisíce let. Okrajově byly zmíněny i moderní metody ošetření a sanování konstrukcí.

Praktickou část této práce lze rozdělit do dvou sekcí. V první sekci byly představeny objekty, ze kterých byly odebrány vzorky historických nátěrů. Tyto nátěry byly podrobeny rentgenové fluorescenční analýze, infračervené spektroskopii a termické analýze. Výsledkem těchto analýz je přibližné složení materiálu, které může dopomoci s identifikací jednotlivých složek nátěrů. Z hlediska prvkového složení byly všechny konstrukční nátěry prokázány jako vápenné, jelikož hlavní složkou byl právě vápník. Na dalších místech se objevovala síra, právě její přítomnost značí pravděpodobně přítomnost kamence (síranu hlinito-draselného), který se přidával do nátěrů jako retardér hoření, tyto nátěry tedy mohly být do jisté míry protipožární. Přítomnost síry však může být způsobena i navázáním oxidů síry z ovzduší, které jsou přítomny zejména v městském ovzduší. Nátěr odebraný z Vlastivědného muzea v Olomouci byl poměrně sytě zbarven do růžova. Právě tuto barvu mohou způsobovat různé oxidy kovů (železa), které mohly být přítomny v hlinkách, neboť právě hlínky se taktéž používaly k barvení nátěrů a byly v zásaditém prostředí vápenných nátěrů stálé. Na výsledcích IR analýzy byl zachycen i minerál z řady apatitu, který může taktéž být narůžovělý, červený či oranžový. Pro přesnější určení bylo nutné provést další analýzy na dostatečně reprezentativních vzorcích. Na křivkách termické analýzy lze sledovat především rozklady CaCO_3 mezi 600 – 775 °C.

Pro zajímavost byly tyto analýzy aplikovány i na nekonstrukční vzorek odebraný z rámu barokního zrcadla. Cílem bylo dokázat či vyvrátit přítomnost zlata ve zlato-bronzově vypadajícím nátěru. Tato domněnka byla na základě rentgenové fluorescenční analýzy vyvrácena, zbarvení bylo způsobeno pigmenty na bázi mědi. V průběhu IR analýzy byly zachyceny vosky, oleje či pigmenty. V průběhu termické analýzy byl zaznamenán rozklad složek dřeva, a také pravděpodobně CaCO_3 , který mohl být obsažen v nátěru jako plnivo.

Na základě provedených instrumentálních metod pro stanovení složení neznámých vzorků nátěrů lze konstatovat, že fluorescenční analýza, IR spektroskopie i termická analýza jsou vhodnými metodami pro stanovení složek nátěrů historických konstrukcí, a mohly by dopomoci

při přípravě těchto typů nátěrů například pro použití při rekonstrukcích historických objektů. Při provádění těchto analýz je nutno dbát na reprezentativnost vzorků, jelikož jsou pro analýzy použity vzorky o hmotnosti pouze několika mikrogramů či o průměru několika milimetrů. Bylo by proto nutné opakovat zkoušky na několika vzorcích odebraných z různých částí konstrukce.

V druhé sekci praktické části práce byl vyroben vápenný nátěr z klasického hašeného vápna, které bylo několik desítek let odleželé. Tento nátěr byl aplikován na tělesa vyrobená ze tří dřevin – smrku ztepilého, buku lesního a modřínu opadavého. Tato tělesa byla vyhotovena pro stanovení pevnosti v tlaku ve směru vláken a pro stanovení rázové houževnatosti. Také byly zkoumány příjmy nátěru na jednotlivé druhy dřeva. V podstatě lze konstatovat, že vápenný nátěr by mohl ovlivňovat pevnostní charakteristiky dřeva, jelikož je patrný lehce klesající trend v hodnotách pevnosti v tlaku, a to v závislosti na čase ošetření prvku. Tento fakt způsobuje zásaditá hydrolyza dřeva, jelikož vápno je silná zásada a narušuje povrch dřeva. Toto by však muselo být dokázáno na větším počtu vzorků, a také v delším časovém horizontu. U zkoušek rázové houževnatosti nebyl prokázán jednoznačný vliv nátěru na tuto charakteristiku, protože odlišných efektů bylo dosaženo u různých dřevin. Opět by byl nutný další soubor zkoušek, který by potvrdil či vyvrátil tuto hypotézu. Pevnost v tlaku i rázovou houževnatost však ovlivňuje i hustota dřeva a jeho případné růstové defekty. Vhodná by tak byla pravděpodobně multikriteriální analýza. Závislost pevnosti i rázové houževnatosti na hustotě dřeva byla prokázána i v této relativně malé sadě vzorků dřeva.

Při přípravě vzorků pro simulaci ošetření vápenným nátěrem se ukázaly rozdíly mezi jednotlivými dřevinami, jelikož každý druh dřeva má odlišnou schopnost přijímat nátěr a má vliv i na další fyzikálně-mechanické charakteristiky. Nátěr by měl částečně chránit proti biotickým škůdcům, a to díky jeho vysokému pH. Aplikace tohoto typu nátěru je však závislá na konzistenci nátěru a také na povrchu dřeva, což se při použití novodobě opracovaných prvků ukázalo jako problém. V minulosti však tyto nátěry bývaly aplikovány na dřevo s drsným povrchem, na kterém měly větší šanci ulpět a neopadat, jak je vidět na fotografiích pořízených v historických objektech. Využití těchto nátěrů by mohlo být vyšší i v dnešní moderní době, jelikož je vápno tradiční materiál používaný již několik století. Nevýhodou však může být nemožnost jeho použití ve vlhkém prostředí, či pokles mechanických charakteristik vlivem zásadité hydrolyzy, který byl prokázán.

11 Seznam zdrojů

11.1 Normy

- [1] ČSN 49 0108: Drevo. Zisťovanie hustoty. 1993.
- [2] ČSN 490110: Drevo. Medza pevnosti v tlaku v smeru vlákien. 1980.
- [3] ČSN 490117: Drevo. Rázová húževnatosť v ohybe. 1982.
- [4] ČSN EN 13183-1: Vlhkost vzorku řeziva-Část 1: Stanovení váhovou metodou. 2004.
- [5] ČSN EN 338: Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti. 2010.

11.2 Odborná literatura

- [6] GOGOLKOVÁ, Klára. *XRF Analýza*. Zlín, 2009. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati. Vedoucí práce Vratislav Bednařík.
- [7] HOŘEJŠ, Viktor. *Ochranné nátěry ve stavebnictví*. Praha, 1961.
- [8] KHESTL, F. a P. MEC. *Stavební hmoty II*. Ostrava: FAST VŠB-TU Ostrava, 2013.
- [9] KLOUDA, Pavel. *Moderní analytické metody*. 2., upr. a dopl. vyd. Ostrava: Pavel Klouda, 2003. ISBN 80-86369-07-2.
- [10] KNOR, Jan a Jan VŠETEČKA. *Omítky v období meziválečné architektury*. Brno, 2015. ISBN 978-80-7480-039-9.
- [11] KOKLÍK, Petr a kol. *Stavební materiály historických objektů*. Praha, 2011. ISBN 978-80-7080-347-9.
- [12] KUKLÍK, P. *Dřevěné konstrukce*. Praha: ČKAIT, 2005. ISBN 80-86769-72-0.
- [13] LOKAJ, A. *Dřevostavby a dřevěné konstrukce*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-732-1.
- [14] MEC, Pavel, Tereza MURÍNOVÁ a Karel KUBEČKA. Možnosti využití termické analýzy v oblasti stavebních materiálů. *Stavební obzor*. 2013, (2).
- [15] Petr Broulík. *Patriot: architektura/Grossmanova vila*. 2021, (2).

- [16] REINPRECHT, L. *Ochrana dřeva*. Zvolen: Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-228-1863-6.
- [17] REINPRECHT, L. *Wood deterioration, Protection and Maintenance*. Chicester: Wiley Blackwell, 2016. ISBN 978-1-119-10653-1
- [18] SVOBODA, L. *Stavební hmoty*. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN 80-8076-007.
- [19] ŠEFCŮ, Ondřej, Jan VINAŘ a Marie PACÁKOVÁ. *Metodika ochrany dřeva*. In: ISBN 80-86234-14-2. ISSN 1210-5538.
- [20] ŠKABRADA, Jiří. *Lidové stavby: Architektura českého venkova*. Argo, 2005. ISBN 80-7203-082-5.
- [21] ŠTARCHA, P., TRÁVNÍČEK, Z., *Termická analýza*. Olomouc: UP Olomouc, 2011.
- [22] VINAŘ, J. *Historické krovy II: průzkumy a opravy*. 1. vyd. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-1111-7.
- [23] WITZANY, J., et al. PDR. *Poruchy, degradace a rekonstrukce*, Praha: ČVUT, 2010, ISBN 978-80-01-04488-9.

11.3 Zdroje z internetu

- [24] *Albakmen: Almanach 3* [online]. [cit. 2021-4-24].
Dostupné z: http://www.albakmen.cz/wp-content/uploads/2020/10/Almanach_3_opalovani-a-kart_final_uprav_2_a_foto.pdf
- [25] *Desinsekta: Atlas škůdců* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z:
<https://www.desinsekta.cz/cs/atlas-kdc/atlas-kdc>
- [26] Dřevokazný hmyz. *Thermosanace* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z:
<http://www.thermosanace.cz/drevokazny-hmyz/>
- [27] *Dřevostavitel* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z:
<https://www.drevostavitel.cz/clanek/drevomorka/15235>

- [28] HOUŠKA, P., *Ochrana dřeva* [online]. 2012 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/ochrana-dreva/1894/drzme-se-tradicnich-nateru>
- [29] *Konstrukce ze dřeva z pohledu minulosti a současnosti* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/konstrukce-ze-dreva-z-pohledu-minulosti-a-soucasnosti>
- [30] [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/sbra-a-posudek-spolehlivosti-drevenych-konstrukci/>
- [31] MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A., BISBIKOU, K.: *Characterization of ancient, byzantine and later historic mortars by thermal and X-ray diffraction techniques*. In *Thermochimica Acta*. [online] 1995, vol. 269/270, s. 779-795, [cit. 2021-04-25], dostupné z http://users.ntua.gr/amoropul/assets/Moropoulou_1.pdf
- [32] *Muzeum.mineral: Stručné dějiny vápna* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://muzeum.mineral.cz/vapenictvi/>
- [33] NIS, *Nábytkářský informační systém: Dřevo* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/drevo/page/78/>
- [34] [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://slidetodoc.com/apatite-a-olivine-structuretype-phosphates-apatit-jeden-z/>
- [35] *Principy fyzikální ochrany dřeva* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/5.pdf
- [36] *Přírodní domy* [online]. [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: http://www.prirodnidomy.cz/prirodni_natery.htm
- [37] *Regiony.rozhlas* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://regiony.rozhlas.cz/ve-rtyni-v-podkrkonosi-donedavna-netusili-ze-v-ni-stoji-nejstarsi-ceska-roubenka-7433245>
- [38] *Škudci* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.skudci.com/>
- [39] *Užitný vzor-Nátěrová hmota na bázi albuminu* [online]. 2019 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://muzeavprirode.cz/wp-content/uploads/2020/04/uzitny-vzor-naterova-hmota-na-bazi-albuminu.pdf>

- [40] *Vlastivědné muzeum v Olomouci* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z:
<https://www.vmo.cz/zpravy-zajimavosti/6/na-strese-hlavni-budovy-vlastivedneho-muzea-v-olomouci-probiha-rozsahla-oprava-krovu-z-18.-stoleti>
- [41] *Vlastivědné muzeum v Olomouci* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Vlastiv%C4%9Bdn%C3%A9_muzeum_v_Olomouci
- [42] *VŠCHT Praha: Infračervená spektroskopie* [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z:
<https://www.vscht.cz/files/uzel/0005766/Infra%C4%8Derven%C3%A1+spektrometrie.pdf?redirected>
- [43] *Zásady chemické ochrany dřeva* [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z:
http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdrevu/6.pdf

12 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Nejstarší roubená stavba v ČR.	3
Obrázek 2 - Hladiny dřevní hmoty.....	4
Obrázek 3 - Morfologická struktura jehličnatého dřeva.	6
Obrázek 4 - Morfologická struktura listnatého dřeva	6
Obrázek 5 - Řezy dřevem, P (příčný), R (radiální), T (tangenciální).	7
Obrázek 6 - Řez dřevem s popisem jednotlivých vrstev.	8
Obrázek 7 – Nomogram hygroskopické rovnováhy dřeva.....	9
Obrázek 8 - Pracovní diagram dřeva.....	11
Obrázek 9 - Tvrdost dřeva dle Brinella.	12
Obrázek 10 - Degradací schéma.....	15
Obrázek 11 - Dřevomorka domácí.	17
Obrázek 12 - Koniofora sklepní.	17
Obrázek 13 – Trámovka.	18
Obrázek 14 - Červotoč proužkovaný.	19
Obrázek 15 - Červotoč umrlčí.	19
Obrázek 16 - Tesařík krovový.....	20
Obrázek 17 - Rákosová rohož s vápennou omítkou, sýpka Olomouc.	27
Obrázek 18 - Použití ohořelých trámů na Libušínu	29
Obrázek 19 - Ošetření vnějších částí konstrukce volskou krví.	32
Obrázek 20 - Grossmanova vila Ostrava.....	36
Obrázek 21 - Krov Grossmanovy vily	37
Obrázek 22 - Budova Vlastivědného muzea v Olomouci.	38
Obrázek 23 - Barokní krovy v budově Vlastivědného muzea	39
Obrázek 24 - Sýpka ve Velké Bystřici	39
Obrázek 25 - Vápenné nátěry v objektu bývalé sýpky.....	40
Obrázek 26 - Barokní zrcadlo	40
Obrázek 27 - Přístroj pro rentgenovou fluorescenční analýzu	42
Obrázek 28 - Přístroj Nicolet pro infračervenou spektroskopii	44
Obrázek 29 - Měřicí sklíčko přístroje Nicolet.....	45
Obrázek 30 - Přístroj pro termickou analýzu	46
Obrázek 31 - Výsledné píky IR analýzy vzorku z Grossmanovy vily.....	49
Obrázek 32 - Výsledky termické analýzy vzorku z Grossmanovy vily.....	49

Obrázek 33 - Výsledné píky IR analýzy vzorku z Vlastivědného muzea.	51
Obrázek 34 - Výsledky termické analýzy vzorku z Vlastivědného muzea v Olomouci.....	51
Obrázek 35 - Výsledné píky IR analýzy vzorku z Velké Bystřice.....	53
Obrázek 36 - Výsledky termické analýzy vzorku z Velké Bystřice.....	53
Obrázek 37 - Výsledné píky IR analýzy barokního zrcadla.....	55
Obrázek 38 - Výsledky termické analýzy barokního zrcadla.	55
Obrázek 39 - Výsledné píky jednotlivých konstrukčních nátěrů.	56
Obrázek 40 - Porovnání výsledků termické analýzy konstrukčních nátěrů.	57
Obrázek 41 - Přehled všech vzorků dřeva.....	58
Obrázek 42 - Zkušební tělesa z modřínu ihned po aplikaci vápenného nátěru.....	61
Obrázek 43 - Zkušební tělesa z modřínu po 2 měsících působení nátěru.	61
Obrázek 44 – Graf porovnání příjmu nátěru u jednotlivých druhů dřeva.	62
Obrázek 45 - Výsledky termické analýzy nátěru působícího 14 dní.....	63
Obrázek 46 - Výsledky termické analýzy nátěru působícího 2 měsíce.....	63
Obrázek 47 - Graf závislosti množství obsahu uhličitanu vápenatého v nátěru na čase.....	64
Obrázek 48 - Umístění vzorku do lisu.	66
Obrázek 49 - Graf závislosti pevnosti v tlaku na objemové hmotnosti	68
Obrázek 50 - Graf závislosti pevnosti v tlaku na době působení nátěru.	68
Obrázek 51 - Charpyho kladivo pro stanovení rázové houževnatosti.....	70
Obrázek 52 - Graf závislosti rázové houževnatosti na objemové hmotnosti	72
Obrázek 53 - Graf závislosti rázové houževnatosti na době působení nátěru.....	72

13 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Objemové hmotnosti dřeva.	8
Tabulka 2 - Třídy pevnosti dřeva.	11
Tabulka 3 - Prvkové složení nátěru odebraného v Grossmanově vile.	47
Tabulka 4 - Prvkové složení nátěru odebraného z Vlastivědného muzea.	50
Tabulka 5 - Prvkové složení nátěru odebraného ve Velké Bystřici u Olomouce.....	52
Tabulka 6 - Prvkové složení zdobného nátěru odebraného z barokního zrcadla.	54
Tabulka 7 – Počty vzorků pro stanovení pevnosti v tlaku na různých druzích dřeva.	59
Tabulka 8 – Počty vzorků pro stanovení rázové houževnatosti na různých druzích dřeva.....	59
Tabulka 9 - Stanovení příjmu nátěru na zkušebních tělesech.	62
Tabulka 10 - Přehled objemových hmotností jednotlivých druhů dřeva.	67
Tabulka 11 - Rychlost zatěžování jednotlivých druhů dřeva.	68
Tabulka 12 - Pevnosti v tlaku a vlhkosti vzorků.	70
Tabulka 13 - Rázová houževnatost.	73

14 Seznam příloh

- Příloha č. 1 – Památkový list Grossmanovy vily v Ostravě
- Příloha č. 2 – Památkový list Vlastivědného muzea v Olomouci
- Příloha č. 3 – Výsledky IR analýzy nátěru z Grossmanovy vily
- Příloha č. 4 – Výsledky IR analýzy nátěru z Vlastivědného muzea v Olomouci
- Příloha č. 5 – Výsledky IR analýzy nátěru z Velké Bystřice u Olomouce
- Příloha č. 6 – Výsledky IR analýzy barokního zrcadla
- Příloha č. 7 – Referenční vzorky Smrku ztepilého
- Příloha č. 8 – Vzorky Smrku ztepilého pro 14denní působení vápenného nátěru
- Příloha č. 9 – Vzorky Smrku ztepilého pro 2měsíční působení vápenného nátěru
- Příloha č. 10 – Referenční vzorky Smrku ztepilého pro stanovení rázové houževnatosti
- Příloha č. 11 – Vzorky Smrku ztepilého pro 2měsíční působení vápenného nátěru
- Příloha č. 12 – Referenční vzorky Buku lesního
- Příloha č. 13 – Vzorky Buku lesního pro 14denní působení vápenného nátěru
- Příloha č. 14 – Vzorky Buku lesního pro 2měsíční působení vápenného nátěru
- Příloha č. 15 – Referenční vzorky Buku lesního pro stanovení rázové houževnatosti
- Příloha č. 16 – Vzorky Buku lesního pro 2měsíční působení vápenného nátěru
- Příloha č. 17 – Referenční vzorky Modřínu opadavého
- Příloha č. 18 – Vzorky Modřínu opadavého pro 2měsíční působení vápenného nátěru
- Příloha č. 19 – Referenční vzorky Modřínu opadavého pro stanovení rázové houževnatosti
- Příloha č. 20 – Vzorky Modřínu opadavého pro 2měsíční působení vápenného nátěru